



UNIVERSITE CADI AYYAD

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Département des sciences de la terre

Licence Eau et Environnement

2017/2018

Mémoire de fin d'étude intitulé :

**Etude de vulnérabilité aux
inondations du centre Tamanar dans
la province d'Essaouira**

Présenté par :

GARIR Fatima

GHAZI Kawtar.

Jury :

Mr. M. E. Saidi (FSTG)

Mr. B. Igmoullan (FSTG)

Encadrées par :

Mr. B. Igmoullan (FSTG)

Mr. T. Saouabe (ABHT)

Période de stage :

Du 24 Avril au 24 Mai 2017

Année universitaire : 2017/2018

REMERCIEMENTS

Au terme de ce stage de fin d'études, il nous est agréable d'exprimer nos sincères remerciements à tous ceux qui nous ont aidés à le mener à terme, que ce soit au département des sciences de la terre de la Faculté de Sciences et Techniques de Marrakech ou à l'Agence de Bassin Hydraulique de Tensift.

Nous voudrions, en premier lieu, remercier nos professeurs, particulièrement notre encadrant Mr. I. IGMOULANE, ainsi que Mr. M. SAIDI pour leur aide et assistance.

Nos remerciements vont également à nos encadrants à l'ABHT : Mr. T.SAOUABE, et tous les techniciens qui ont contribué à notre assimilation du sujet par leurs conseils et leurs apports bibliographiques.

Nos sincères remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Nos chaleureux remerciements à nos familles pour leur soutien matériel et moral, ainsi qu'à nos amis pour leurs encouragements.

Enfin, merci à toutes les personnes de la Faculté des Sciences et techniques qui ont participé à notre formation ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

Liste les figures	4
Liste les tableaux	5
Introduction generale.....	6
CHAPITRE I : presentation de la zone d'etude.....	9
I –Contexte administratif.....	9
II - Géomorphologie	10
III – Ressources en eau	11
V – Climat	13
CHAPITRE II : etude hydrologique du bassin versant de l'oued tamar.	15
I – Délimitation du bassin versant	15
II – Caractéristiques physiographiques du bassin versant	17
II – 1 - Surface, périmètre et talweg principal.....	17
II - 2- Indice de compacité de GRAVELIUS	17
II– 3 - Indice de Horton	18
II – 4 - Le rectangle équivalent	18
II - 5 – La pente de l'Oued	19
II – 7– Récapitulatif Des Caractéristiques Physiques	20
III – Calcul des débits de pointe	21
III - 1 – Méthodologie	21
III – 2 - Méthodes usuelles	25
III – 3 – Ajustement statistique	31
III – 4 – Méthode de Gradex	35
III – 5 – Synthèse des résultats	39
Chapitre III:modélisation hydraulique et etablissement des cartes des zones inondables	41
I – Objectif	41
II – Outil de modélisation	41
III - Etapes de modélisation	42
III – 1 - Données d'entrées du modèle	42
III – 2 – Création de modèle numérique de terrain MNT	45
III – 3 – Emplacement des sections	47
III – 4 – Résultats de simulation hydraulique	48
III – 5 – Cartes des zones inondables	51
Conclusion generale.....	54
References bibliographique	55
Annexes.....	56

LISTE LES FIGURES

Figure 1 : carte administrative de bassin Tensift.....	9
Figure 2 : Zone d'action de l'ABHT limite Provinces.....	10
Figure 3 : les eaux de surfaces dans la zone d'action de l'ABHT.....	11
Figure 4 : Les eaux souterraines dans la zone d'action de l'ABHT.....	12
Figure 5 : carte de bassin versant de l'Oued TAMANAR.....	16
Figure 6 : ajustement graphique des débits maximaux annuels.....	32
Figure 7 : Débits retenus par la loi de 3-parameter lognormal.....	33
Figure 8 : Gradex des pluies en 24 heures.....	36
Figure 9 : Modèle numérique du terrain de l'oued Tamanar.....	46
Figure 10 : Tracé en plan et emplacement des sections.....	47
Figure 11 : Profil en long des niveaux d'eau maximaux des crues.....	49
Figure 12 : Exemple de section illustrant les niveaux d'eau max atteints.....	50
Figure 13 : Carte des zones inondables de l'Oued TAMANAR.....	51
Figure 14 : Carte des zones inondables de l'Oued TAMANAR sur fond MNT.....	52

LISTE LES TABLEAUX

Tableau 1 : Surface, périmètre et longueur du talweg principal de l'Oued TAMANAR.....	17
Tableau 2 : Longueur et largeur du rectangle équivalent du bassin versant de l'Oued TAMANAR.....	19
Tableau 3: Récapitulatif des caractéristiques physiques du Bassin versant de l'Oued TAMANAR.....	20
Tableau 4: Récapitulatif du temps de concentration du bassin versant selon les différentes méthodes.....	24
Tableau 5 : Débits calculés par la formule de Mallet-Gautier.....	25
Tableau 6 : Débits calculés par la formule de Fuller II.....	26
Tableau 7 : Les valeurs a et b (étude de protection contre l'inondation de centre TAMANAR).....	27
Tableau 8 : Débits calculés par la formule de Hazen-Lazarevic.....	28
Tableau 9 : Les coefficients de MONTANA calculés.....	29
Tableau 10 : Les intensités calculées dans chaque temps de retour T.....	30
Tableau 11 : Coefficient de ruissellement.....	30
Tableau 12 : Débits calculés par la méthode rationnelle.....	30
Tableau 13 : Ajustement numériques des lois aux débits annuelles maximales pour une période de 100ans.....	33
Tableau 14 : Coefficient de Franco-Rodier calculé.....	34
Tableau 15 : Débits calculés par la méthode de Franco-Rodier.....	34
Tableau 16 : Détermination de l'équation d'ajustement des débits.....	38
Tableau 17 : Débits calculés par la méthode de Gradex.....	38
Tableau 18 : Débits obtenus en (m ³ /s) par les différentes méthodes.....	39
Tableau 19 : Les valeurs du coefficient de Manning pour différents types de terrains.....	43
Tableau 20 : Résultats de simulation hydraulique.....	48

INTRODUCTION GENERALE

Les inondations représentent un risque naturel qui peut causer des pertes en vies humaines, des dégâts matériels et la dégradation de l'environnement. A l'échelle du bassin méditerranéen, ce risque vient en deuxième rang derrière le risque sismique, mais il occupe en revanche le premier rang sur le plan de fréquences d'occurrences. C'est pourquoi elles sont au centre des préoccupations des scientifiques, afin de diminuer les dégâts qui en découlent.

Au Maroc, on s'est intéressé depuis longtemps aux phénomènes hydrologiques extrêmes. Car le pays connaît des crues et inondations répétitives dans différentes régions

Les bassins versants du Haut Atlas situés dans un contexte semi-aride, leur environnement hydro-géomorphologique et pluviométrique favorise le déclenchement de crues éclair caractérisées par des grandes vitesses et des temps de montée assez courts.

Tous ces facteurs combinent pour donner la raison d'être à ce travail qui vise l'identification des causes par des études cartographiques et analytiques en plus de la modélisation spatiale et spatio-temporelle à l'aide d'un ensemble d'outils informatiques.

Ceci à fin de préconiser des mesures de protection et de prévention contre les inondations.

Compte tenu des objectifs de notre travail on a choisi de le présenter en trois grands chapitres :

- Le premier sera consacré à la présentation géographique de bassin versant de l'oued Tamar dans la province d'Essaouira du point de vue climatique, topographique, géomorphologique et hydrologique.

- Le deuxième chapitre présentera respectivement une étude hydrologique approfondie en utilisant le SIG (système informatique géographique) pour la détermination des paramètres du bassin versant, Excel pour le traitement des données (débit, pluie..), HyfranPlus pour l'ajustement statistique des débits et des pluies extrêmes.

- Le troisième chapitre présente une modélisation hydraulique et une élaboration des cartes des zones inondables.

Pour conclure, nous proposerons des recommandations et perspectives pour les futures études de modélisation sur le bassin, que nous n'avons pas pu faire faute de temps.

Chapitre I :

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.

I –Contexte administratif :

Administrativement, le bassin de « **Tensift – Ksob – Igouzoulen** » couvre totalement la préfecture de Marrakech, les provinces de Haouz, Chichaoua et Essaouira et partiellement les provinces de KalaâtSraghna et Safi.

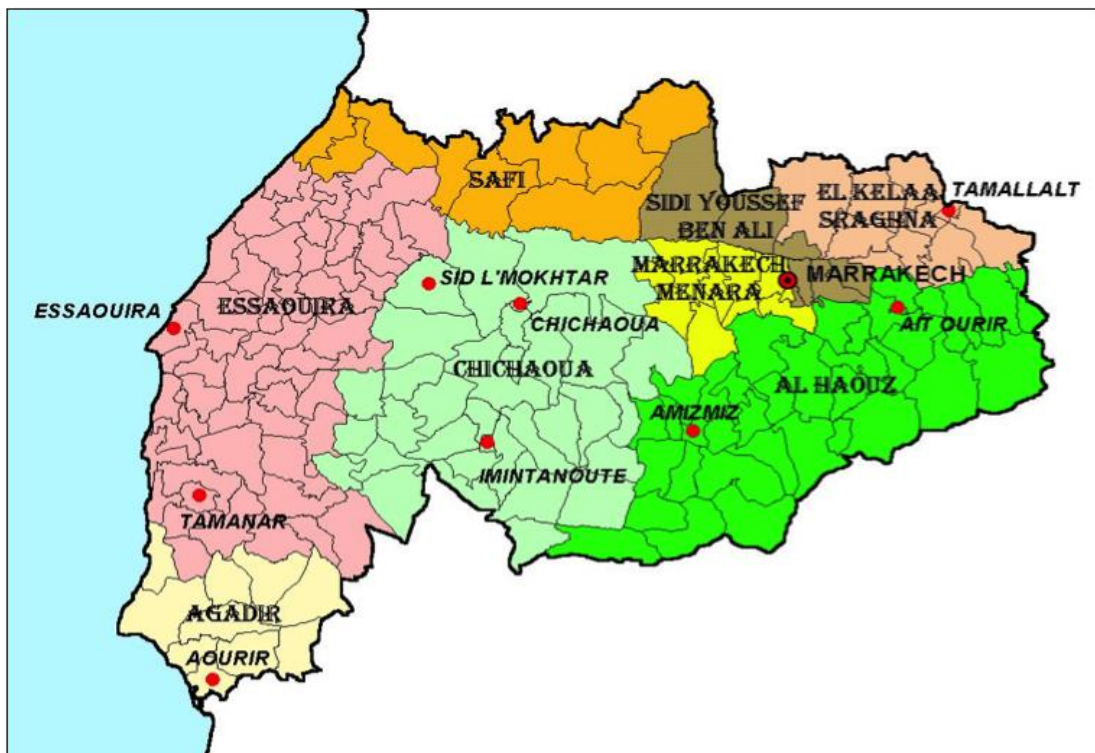


Figure 1 : carte administrative de bassin tensift.

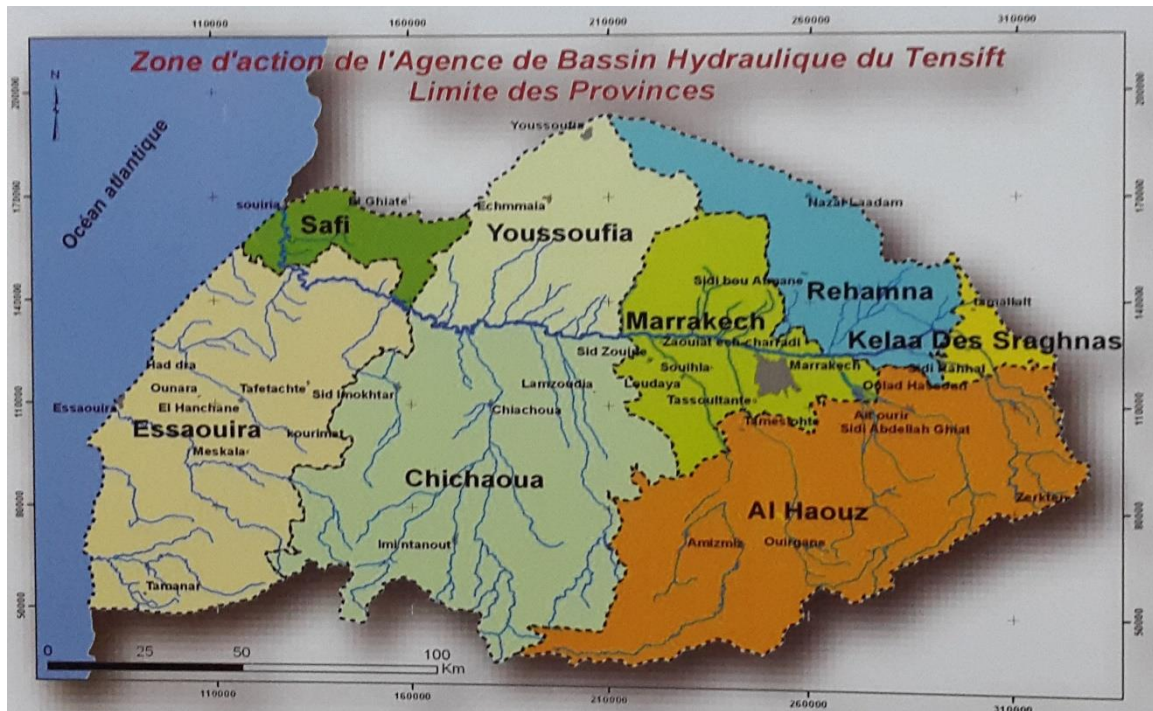


Figure 2 : Zone d'action de l'ABHT limite Provinces

II - Géomorphologie :

Notre zone d'action Située au centre ouest du Maroc, le bassin du **Tensift-Ksob-Igouzoulen** s'étend sur une superficie de l'ordre de 24 800 Km² et peut être subdivisé en quatre domaines géographiques différenciés :

- ❖ Le Haut Atlas au sud : zone de montagnes formant les plus hauts reliefs du Royaume avec comme point culminant à 4167 m, le Jbel Toubkal ;
- ❖ La plaine du Haouz et le bassin de Mejjate au centre : une dépression d'une superficie de 6 000 Km², allongée d'Est en Ouest et large de 40 Km, traversée par la majorité des affluents de la rive gauche de l'oued Tensift drainant les eaux de la chaîne atlasique ;
- ❖ Les Jbilet au nord : formées de montagnes de faible altitude, émergent au nord de la plaine du Haouz ;
- ❖ Le bassin d'Essaouira-Chichaoua à l'ouest, constitué d'un vaste plateau à topographie tourmentée, constituant la transition entre les plaines intérieures et le Haut Atlas.

III – Ressources en eau :

- **Eau de surface :**

Les ressources en eau de surface sont limitées et caractérisées par une irrégularité spatio-temporelle. La pluie varie de 800 mm en région de montagne à 250 mm dans la plaine (Marrakech).

L'oued Tensift, ses affluents et le bassin côtier atlantique de Ksob et Igouzoulen constituent le principal réseau hydrographique du Tensif.

Les apports moyens annuels drainés à l'aval des stations de mesure sont évalués à près de 846 mm³/an. En outre, la région bénéficie d'un transfert d'eau à partir du bassin l'Oum Er Rbia, via le canal de Rocade de 200 mm³ en année moyenne, destinés à l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech à hauteur de 40 mm³ et à l'irrigation dans le Haouz central.

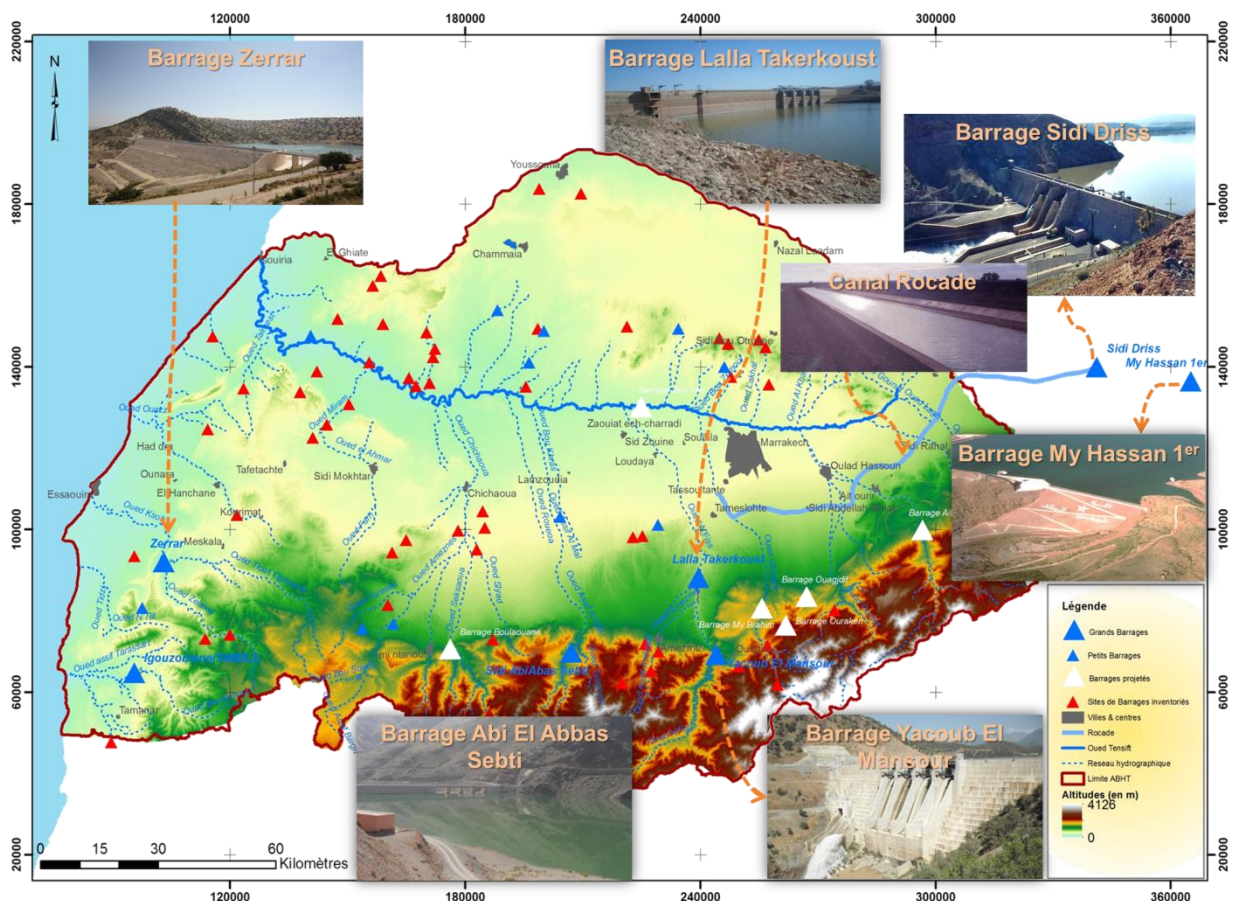


Figure 3 : les eaux de surfaces dans la zone d'action de l'ABHT.

- **Eau souterraine :**

La région est caractérisée par la présence de structures géologiques très diversifiées qui sont à l'origine de l'inégale répartition géographique des eaux souterraines. Les unités hydrogéologiques d'extension notable sont comprises dans la couverture sédimentaire qui forme le sous-sol de plaines et de plateaux. Les principales nappes sont :

- La nappe du Haouz Mejjate, qui constitue la nappe la plus surexploitée.
- Les nappes du bassin d'Essaouira-Chichaoua qui comporte plusieurs niveaux aquifères :
 - La nappe côtière.
 - L'aquifère de Meskala-Kourimate.
 - La nappe de Ouled Bou Sbaa
- La nappe de la Bahira plus au Nord au-delà des jbilates et qui renferme une nappe d'eau dont l'exploitation est de plus en plus intense.

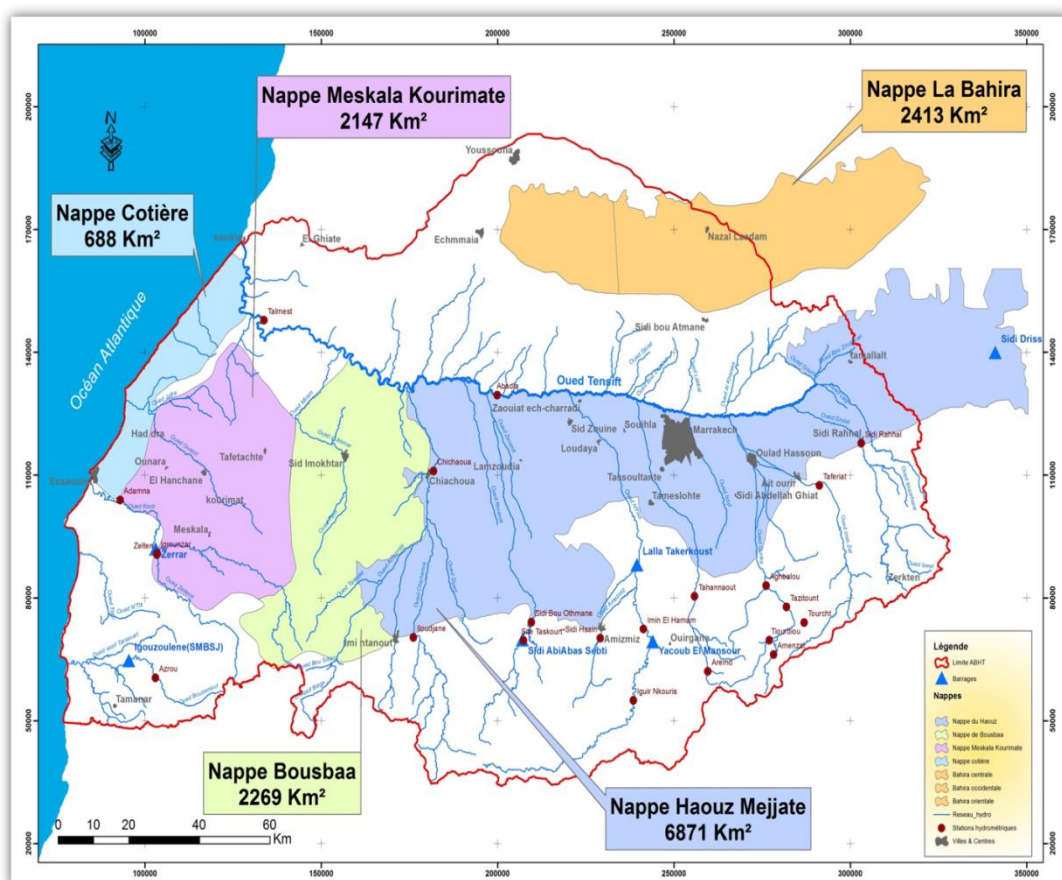


Figure 4 : Les eaux souterraines dans la zone d'action de l'ABHT.

V – Climat :

En raison de son étendue et de son relief, le bassin se caractérise par un climat très différencié d'une zone à l'autre. Ainsi, le climat est semi-aride influencé par le courant froid des Canaries dans la zone côtière, semi-aride chaud dans les Jbilet et continental de type aride dans le Haouz et le Mejjate.

Les précipitations sont faibles et caractérisées par une grande variabilité spatiotemporelle. La pluviométrie moyenne annuelle est faible, de l'ordre de 250 mm à Marrakech et peut atteindre 700 mm sur les sommets de l'Atlas.

Les pluies mensuelles montrent également l'existence de deux saisons nettement différenciées :

- ✓ **Une saison humide** allant du mois d'Octobre à Avril où interviennent la quasi-totalité des épisodes pluvieux, soit près de 85 à 95% de la pluviométrie annuelle ;
- ✓ **Une saison sèche** allant de Mai à Septembre avec seulement 5 à 15% de la pluviométrie annuelle Les températures moyennes mensuelles, varient entre 18.5°C et 20.5°C. L'évaporation moyenne annuelle varie de 1 830 mm sur le versant atlasique à 2640 mm dans la plaine du Haouz.

Chapitre II :

**ETUDE HYDROLOGIQUE
DU BASSIN VERSANT
DE L'OUED TAMANAR**

CHAPITRE II : ETUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED TAMANAR.

I – Délimitation du bassin versant :

L'identification du bassin versant de l'oued Tamanar a été faite sur les cartes topographiques à l'échelle 1/50000. Le plan montre la délimitation de ce bassin versant.

L'oued Tamanar, est un affluent de Oued Almim qui est à son tour un affluent rive gauche de oued Igouzoulen. Le BV de l'oued Tamanar est allongé et peu pentu. Morphologiquement, le lit de l'oued n'est pas très stable en amont (lit peu prononcé et berges friables) ne présente presque pas de points d'étranglement.

Néanmoins, nous avons relevé plusieurs points de changement brusque de l'écoulement.

En amont du centre, de petites chaâbas déversent dans l'oued. Le charriage y est négligeable.

Le jour du Souk, le centre connaît un attrait important de la population riveraine.

L'emplacement de ce Souk, en période d'été, au sein du lit mineur expose cette population aux risques d'inondations.

La nature des terrains affleurants est dans sa majorité meuble appariée à des pentes faibles. Ce qui suppose des ruissellements à régime fluvial et lames d'eau relativement importantes en cas de crue.

Délimitation du bassin versant

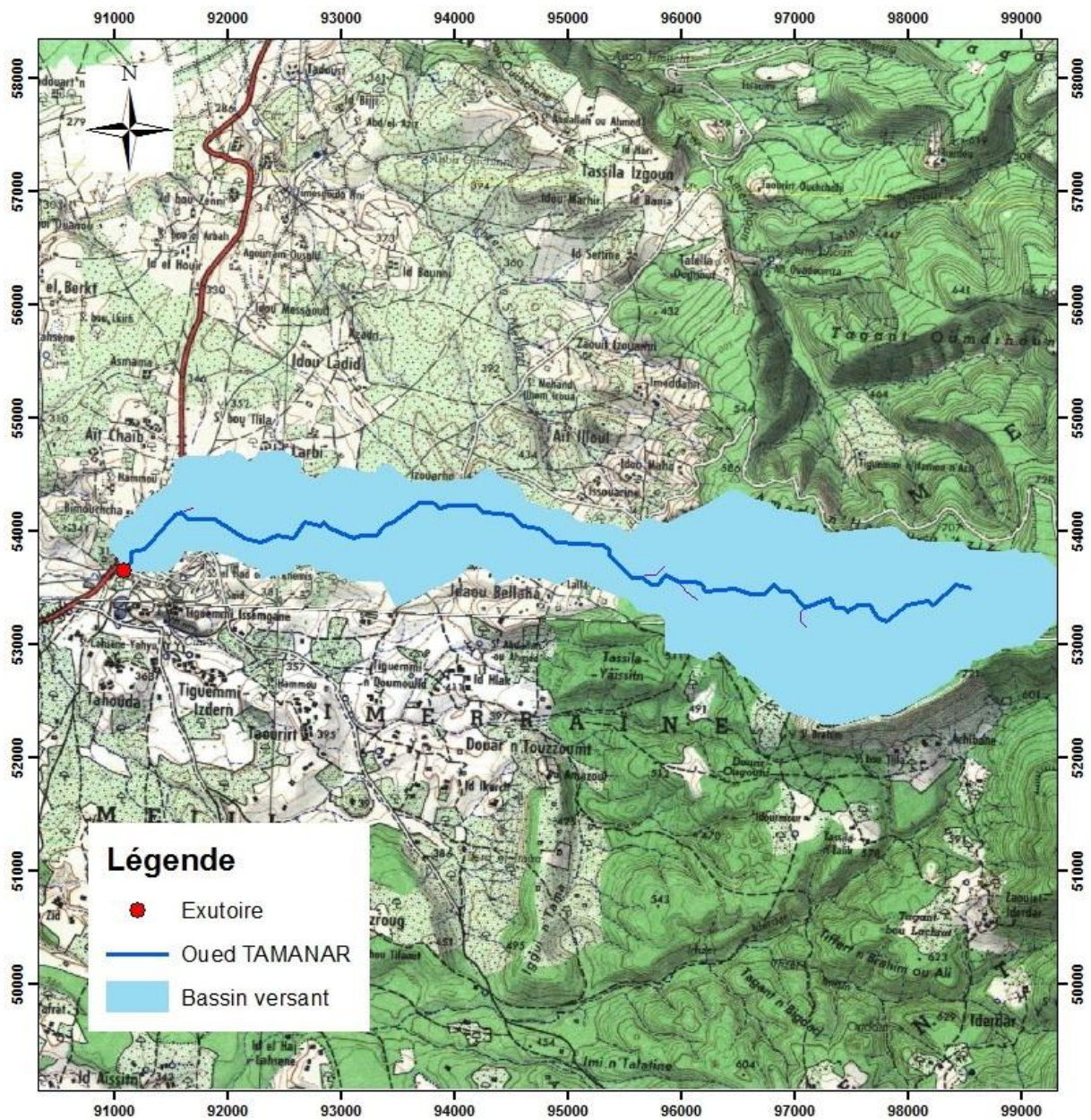


Figure 5 : carte de bassin versant de l'Oued TAMANAR.

II – Caractéristiques physiographiques du bassin versant :

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Le temps de concentration qui caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à des précipitations, est influencé par diverses caractéristiques morphologiques: en premier lieu, la taille du bassin (sa surface et son périmètre), sa forme, son élévation, sa pente moyenne et son orientation.

II – 1 - Surface, périmètre et talweg principal :

Les caractéristiques morpho-métriques du bassin versant ont des conséquences directes sur le comportement hydrologique de celui-ci. Ces caractéristiques peuvent être calculées automatiquement à l'aide du logiciel Arcgis.

Tableau 1 : Surface, périmètre et longueur du talweg principal de l'Oued TAMANAR.

Superficie du bassin (km ²)	8.79
Périmètre du bassin (km)	20.58
Longueur du talweg principal (km)	8.96

II - 2- Indice de compacité de GRAVELIUS :

Cet indice de forme ou coefficient de compacité de GRAVELIUS (KG) est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. KG donne une idée sur la forme du bassin versant et il est défini par la formule suivante:

$$K_G = \frac{P}{2 \times \sqrt{\pi \times S}} = 0.282 \times \frac{P}{\sqrt{(S)}}$$

KG: Indice de compacité de Gravelius.

S: Superficie du bassin versant en km².

P: Périmètre du bassin versant en km.

➤ **KG = 1.94**

D'après les résultats, on a l'indice de forme du bassin versant est supérieur à 1 alors il a une forme allongée.

II- 3 - Indice de Horton :

Il exprime le rapport de la largeur moyenne du bassin versant à la longueur du cours d'eau principal.

$$K_H = \frac{S}{L^2}$$

S : surface en Km².

Lc : Longueur du cours d'eau principal en Km.

➤ **K_H = 0.1**

Un bassin allongé présente un indice inférieur à 1.

II - 4 - Le rectangle équivalent :

La notion du rectangle équivalent permet de comparer l'influence des caractéristiques des bassins versants sur l'écoulement.

Cette notion assimile le bassin versant à un rectangle qui a la même superficie, le même périmètre, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique. Sa longueur et sa largeur sont donnée par l'expression suivant:

$$A = L.l \quad P = 2.(L + l)$$

La longueur :

$$L = \frac{K_G \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right]$$

La largeur :

$$l = \frac{K_G \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right]$$

L : La longueur est exprimée en Km.

l : La largeur en Km.

K_G : L'indice de compacité.

S : la superficie du bassin versant en km².

Tableau 2 : Longueur et largeur du rectangle équivalent du bassin versant de l'Oued TAMANAR.

La longueur L (km)	La largeur l (km)
9.35	0.94

II - 5 – La pente de l'Oued :

Consiste à rapporter le dénivelé d'altitude entre les deux points extrêmes du bassin à la longueur du bassin définie par la longueur du rectangle équivalent.

$$I_{\text{moy}} = \frac{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}}{L}$$

H_{max} : L'altitude maximale.

H_{min} : L'altitude minimale.

L: La longueur de talweg en (m).

➤ $I = 0.055 = 5.5\%$

II – 7– Récapitulatif Des Caractéristiques Physiques :

Tableau 3: Récapitulatif des caractéristiques physiques du Bassin versant de l'Oued TAMANAR.

CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT	
DESIGNATION	VALEUR
Superficie S(m ²)	8790000
Superficie S(km ²)	8.79
Périmètre P(m)	20580
Périmètre P(km)	20.58
Longueur du talweg principal L(m)	8960
Longueur du talweg principal (km)	8.96
Hauteur max(m)	810
Hauteur min(m)	317
Dénivelée(m)	493
Indice de Gravelius (KG)	1.94
Indice de Horton (KH)	0.10
Indice de pente global I(m/m)	0.055
Indice de pente global I(%)	5.5

III – Calcul des débits de pointe :

L'objectif est de déterminer les débits de pointe des crues de fréquences caractéristiques de l'oued Tamanar. Nous utiliserons la méthode de Gradex, les formules usuelles, et les ajustements statistiques.

III - 1 – Méthodologie :

Les débits de cet oued ne sont pas mesurés, ils seront donc calculés par des formules usuelles et par analogie avec le bassin versant de station hydrologique voisine « IGROUNZAR ».

Après la définition des caractéristiques physiques du bassin versant, on étudiera les pluies qu'il reçoit durant un pas de temps égal au temps de concentration.

Ensuite on estimera les débits de pointes des crues à l'aide des méthodes usuelles. On en retiendra après justification, les valeurs finales des débits des crues de fréquences 10, 20, 50, 100 ans.

Les formules utilisées pour l'estimation des débits de pointe sont :

1. Formules Empiriques :
 - Mallet-gauthier.
 - Hazan lazareviç.
 - Fuller II.
2. Méthode rationnelle.
3. Méthode de Franco-rodier.
4. Méthode de Gradex.

❖ Calcul de temps de concentration :

Le temps de concentration T_c ou temps de pointe, est le temps nécessaire pour qu'une particule d'eau provenant de la partie la plus éloignée du bassin pour parvenir à l'exutoire. Son calcul se fait en utilisant les formules empiriques suivantes:

La formule de Giordotti :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{DH}}$$

Tc: Temps de concentration en heure.

S : surface du BV en Km².

L : longueur du Talweg en Km.

DH: Dénivelée maximale du BV en m.

↳ Cette formule est la mieux adaptée aux bassins versants ruraux.

La formule de Kirpich :

$$T_c = 0.01947 \times L^{0.77} \times I^{-0.385}$$

Tc: Temps de concentration en min.

L : Longueur du Talweg en m.

I : Pente moyenne du Talweg en m/m.

La formule de Turraza- Passini :

$$T_c = 6,48 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot S}}{\sqrt{I}}$$

Tc: Temps de concentration en min.

L : Longueur du Talweg en Km.

I : Pente moyenne en m/m.

S: Superficie du bassin versant en km².

La formule de ventura :

$$T_c = 7,632 \cdot S^{0,5} \cdot I^{0,5}$$

Tc: Temps de concentration en min.

S : Superficie du bassin versant en km².

I : Pente moyenne du Talweg en m/m.

Van Te Chow :

$$T_c = 7,38 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,64}$$

Tc : Temps de concentration en min.

I : pente moyenne du cours d'eau principal en m /m.

L : longueur du cours d'eau principal en km.

Formule Californienne :

$$T_c = 8,712 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,77}$$

Tc : Temps de concentration en min.

I : pente moyenne du cours d'eau principal en m /m.

L : longueur du cours d'eau principal en km.

❖ Choix Du Temps De Concentration :

Le tableau suivant récapitule les diverses valeurs du temps de concentration obtenues par ces formules. La valeur du temps de concentration retenue est la moyenne des valeurs calculées les plus proches.

Tableau 4: Récapitulatif du temps de concentration du bassin versant selon les différentes méthodes.

Formule	tc (h)	tc (min)
Giandotti	1.42	83.45
Van Te Chow	1.27	75.96
Turrazza et Passini	1.97	118.24
Ventura	1.61	96.44
Kirpich	1.08	64.89
Formule Californienne	2.4	143.98
tc retenu (moyenne des valeurs les plus proches)	1.47	88.2

III – 2 - Méthodes usuelles :

III – 2 – 1 - Formules empiriques :

Il existe de nombreuses formules d'estimation des crues des bassins versants, parmi ces formules empiriques les plus adaptés au contexte marocain, on cite les formules ci-dessous :

- **Formule de Mallet-Gautier :**

- i-* **Enoncé de la formule :**

La formule de Mallet-Gautier est utilisée la 1ère fois pour le cas des cours algériens. Elle s'exprime de la manière suivante :

$$Q(T) = 2k \log(1 + aH(T)) A \sqrt{(1 + 4 \log T - \log A)} / \sqrt{L}$$

Q(T) : Débit de pointe pour la période de retour *T* (m³/s).

H(T) : Pluie moyenne annuelle en m.

T : Période de retour en ans.

L : Longueur du cours d'eau principal en km.

A : Superficie du BV en km².

a : Paramètre variant de 20 à 30. On prend 20 pour le Maroc.

k : Paramètre régional variant de 0,5 à 5.

- ii-* **Débits obtenus :**

Tableau 5 : Débits calculés par la formule de Mallet-Gautier.

Paramètres utilisés						Débits calculé par la formule Mallet - Gauthier			
Nom BV	A (km ²)	L (km)	k	a	H(T) en m	10	20	50	100
Oued TAMANAR	8.79	8.96	2	20	0.282	19.4	22.1	25.3	27.4

- **Formule de Fuller II :**

- i- **Enoncé de la formule :**

La formule de Fuller II, utilisée pour l'estimation des débits de crues des bassins versant de superficies supérieures à 10 Km², s'écrit comme suit :

$$Q_T = (1 + a \cdot \log T) \left(A^{0.8} + \frac{8}{3} A^{0.5} \right) \frac{4}{3} \frac{N}{100}$$

Q : Débit de pointe de période de retour T (en m³/s).

A : Superficie du bassin (Km²).

a: Coefficient entre 0.7 et 3.5.

N : Coefficient régionale qui varie entre 80 et 100.

T : Période de retour.

- ii- **Débits obtenus :**

Tableau 6 : Débits calculés par la formule de Fuller II.

Paramètres utilisés				Débits calculé par la formule Fuller II			
Nom BV	A (km ²)	a	N	10	20	50	100
Oued TAMANAR	8.79	0.8	85	27.7	31.4	36.4	40.1

- **Formule de Hazen-lazarevic :**

- i- Enoncé de la formule :*

La formule de Hazan- Lazarevic a été établie sur la base de la synthèse des informations dans différents bassins versants du Maroc, le calcul de débit de pointe pour les différentes périodes de retour se fait par le calcul du débit de la fréquence T = 1000 ans. La formule s'écrit de façon suivante :

$$Q (1000 \text{ ans}) = a.S^b$$

S : Surface du BV en km².

Les valeurs des paramètres « **a** » et « **b** » dépendent de la situation géographique de la zone et de sa pluviométrie annuelle.

Tableau 7 : Les valeurs a et b (étude de protection contre l'inondation de centre TAMANAR)

	Province du Nord			Moyen Atlas	Haut Atlas		
	Rif central	Rif occidental	Rif oriental				
A	15.55	9.78	7.58	14.94	13.51	13.47	9.38
B	0.776	0.793	0.808	0.636	0.613	0.587	0.742
Pluviométrie (mm)	1000-1300	800-1000	600-800	700-900	500-700	400-500	200 -400

En nous basant sur la géographie et la pluviométrie de la zone d'étude, nous prenons les coefficients qui s'en approchent le plus, celle du Haut Atlas.

$$A = 9.38$$

$$B = 0.742$$

➤ $Q(1000) = 47.05 \text{ (m}^3\text{/s)}$.

Le passage des débits 1000 aux débits des différents périodes de retour se fait de via un coefficient α déduit à partir du coefficient a de Fuller I, par la relation suivante :

$$Q_t = Q(1000) * (1 + \alpha \log T) / (1 + \alpha \log(1000)).$$

Q(T) : débit de pointe en m³ /s.

a : Coefficient régional, nous prenons a=2.

ii- Débits obtenus :

Tableau 8 : Débits calculés par la formule de Hazen-Lazarevic.

Paramètres utilisés					Débits calculé par la formule Hazan-Lazarevic			
Nom BV	S (km ²)	k	a	b	10	20	50	100
Oued TAMANAR	8.79	0.2	9.38	0.742	35.3	37.1	39.4	41.2

III – 2 - 2 –Méthode rationnelle :

i- Enoncé de la formule :

La méthode rationnelle permet le calcul du débit de pointe des petits bassins versant, elle se présente comme suit :

$$Q_p = \frac{C \times I(T, t_c) \times A}{3.6}$$

Q_p : Débit de pointe du bassin versant (en m³/s).

C : Coefficient de ruissellement.

A: Superficie du bassin versant (en Km²).

I (T,t_c): Intensité de la précipitation pour une durée de précipitation égale au temps de concentration (en mm/h).

✓ **Intensité :**

L'Intensité correspondant au temps de concentration de période de retour T.

$$I(T,t) = a(T) \times t - b(T)$$

t: temps de concentration en min.

I: Intensité en mm/min.

Les paramètres a et b de MONTANA sont fournis par l'ABHT.

Tableau 9 : Les coefficient de MONTANA calculés.

T	a	b
10 ans	4.35	0.75
20 ans	5.35	0.76
50 ans	6.65	0.77
100 ans	7.62	0.77

Les intensités retenues sont :

Tableau 10 : Les intensités calculées dans chaque temps de retour T.

Bassins versants		Intensités de pluies (mm/h)			
Nom BV	Tc (min)	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Oued TAMANAR	88.2	9.07	10.66	12.68	14.52

✓ *Coefficient de ruissellement :*

Le tableau de coefficient de ruissellement est comme suit :

Tableau 11 : Coefficient de ruissellement.

Coefficients de ruissellement C				
Topographie et végétation		Texture du sol		
		Sablonneux	Argile et Silt	Argile Compacte
Boisé				
Plat	pen ^t e 0-5%	0,10	0,30	0,40
<u>valonneux</u>	pen ^t e 5-10%	0,25	0,35	0,50
Montagneux	Pen ^t e 10-30%	0,30	0,50	0,60
DEBOISE ET FRICHES				
Plat	pen ^t e 0-5%	0,10	0,30	0,40
<u>Valonneux</u>	pen ^t e 5-10%	0,16	0,36	0,55
Montagneux	pen ^t e 10-30%	0,22	0,42	0,60
CULTURES DRAINEES				
Plat	pen ^t e 0-5%	0,30	0,50	0,60
<u>Valonneux</u>	pen ^t e 5-10%	0,40	0,60	0,70
Montagneux	pen ^t e 10-30	0,52	0,72	0,82

On prend le coefficient de ruissellement pour notre bassin versant = 0.4

ii- *Débits retenus :*

Tableau 12 : Débits calculés par la méthode rationnelle.

Nom BV	Débits calculés par la méthode rationnelle (m3/s)			
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Oued TAMANAR	8.86	10.42	12.39	14.20

III – 3 – Ajustement statistique :

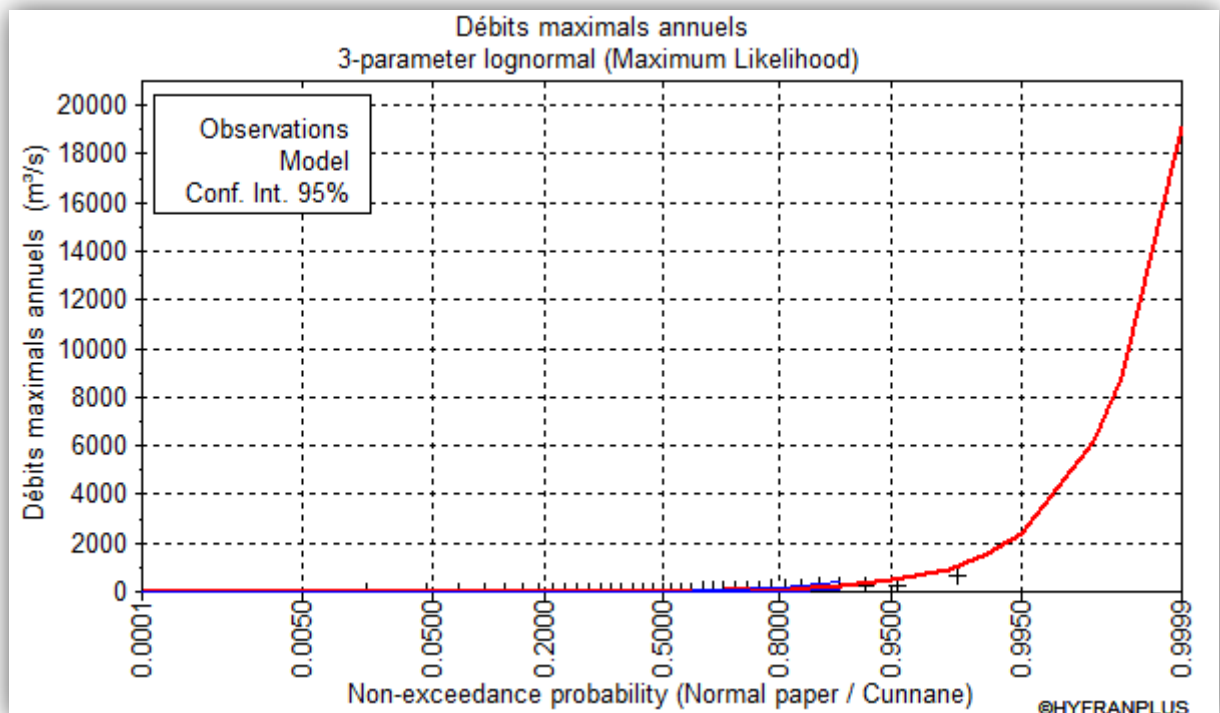
Cette approche consiste à ajuster les débits maximums instantanés enregistrés au niveau de station « IGROUNZAR », (Voir annexe 1), à des lois statistiques adaptées aux évènements extrêmes, afin d'estimer les débits de pointes de bassin jaugé.

Les résultats des calculs seront transposés vers le bassin non jaugé « Oued TAMANAR ».

Afin de découvrir la structure des variations des débits et des précipitations et pour faire une analyse détaillée de ces données, l'ajustement statistique a fait grâce au logiciel HYFRAN. Ce dernier propose 14 lois d'ajustement statistique et détermine un modèle ou plus qui ajustent au mieux l'ensemble des données. Dans un premier temps on se base sur les résultats graphiques d'ajustement qui permettent de donner une idée préjugée du degré de corrélation avec la distribution de la variable étudiée. Ensuite on se base sur les résultats de l'analyse numérique qui classe les différentes lois utilisées selon les critères d'AIC et BIC en attribuant les plus faibles valeurs aux lois représentant les meilleurs résultats d'ajustement.

- **Ajustement des lois à un échantillon des débits maximaux annuels :**

III – 3 – 1 - Méthode visuelle :



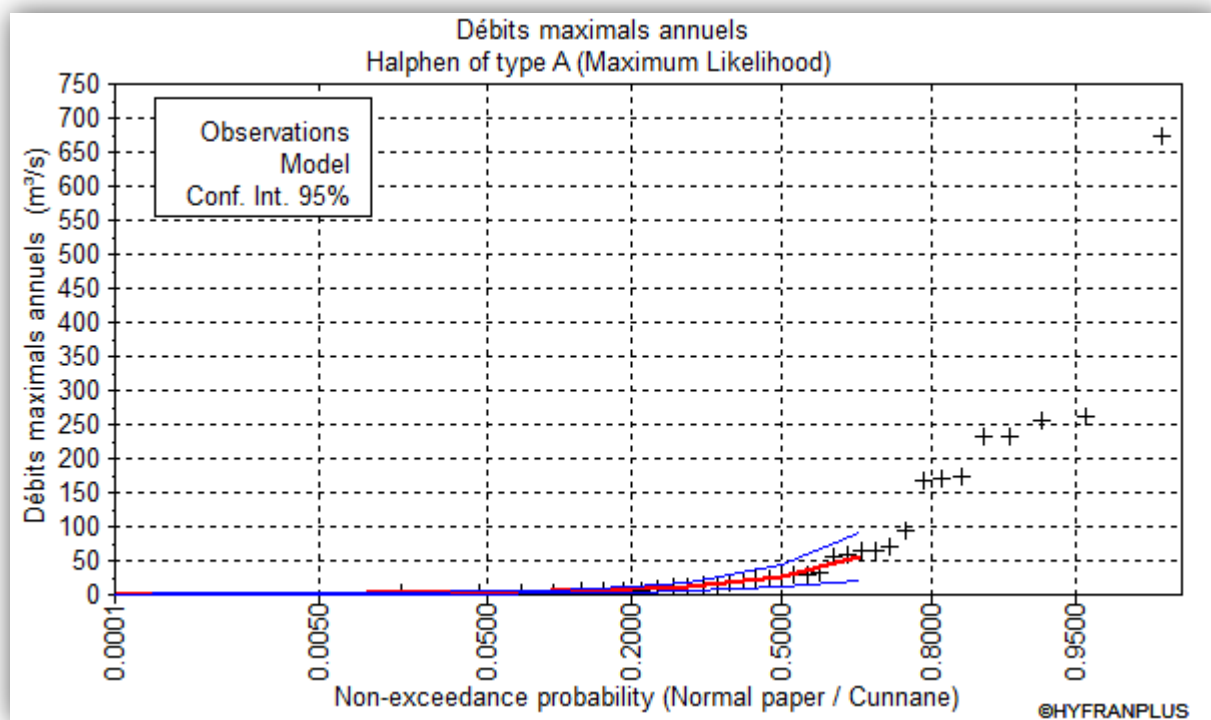
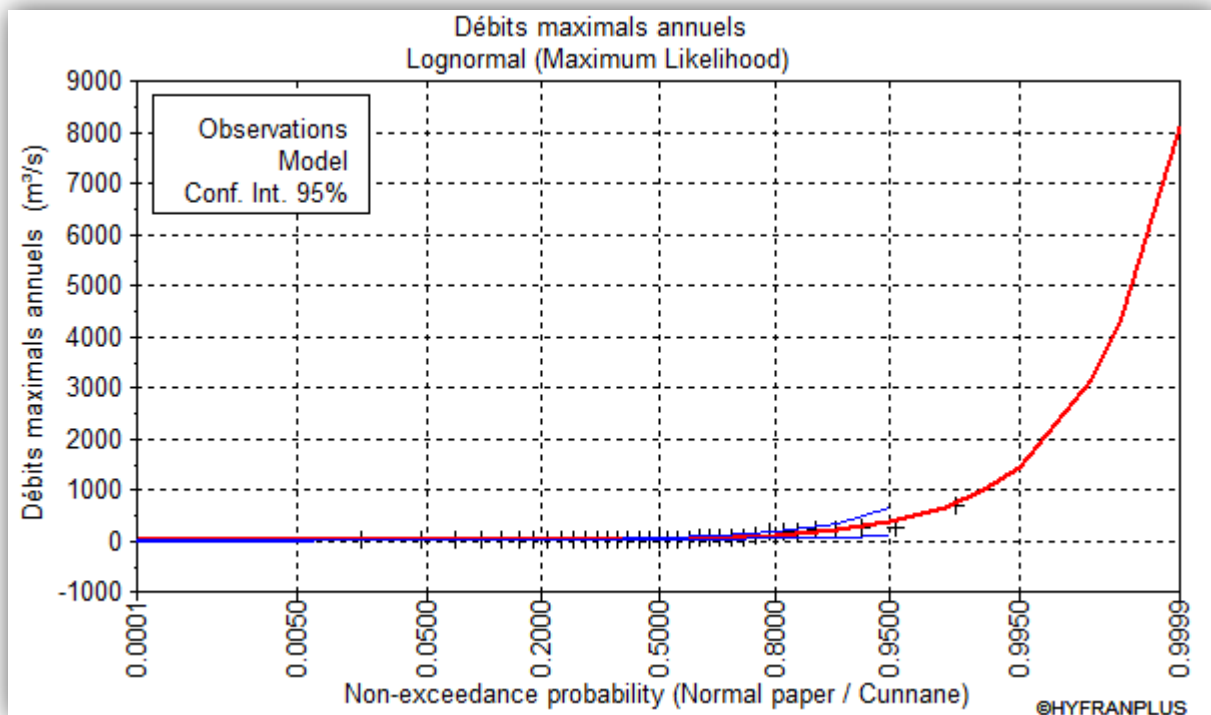


Figure 6 : ajustement graphique des débits maximaux annuels.

On remarque visuellement que les lois 3-parameter lognormal, Log Normal et Halphen of type A sont les plus adaptées pour l'ajustement de la variable débit annuelles maximales.

III – 3 – 2 - Méthode numérique :

Tableau 13 : Ajustement numériques des lois aux débits annuelles maximales pour une période de 100ans.

Modèle	AIC	BIC
3-parameter lognormal (maximum likelihood)	366.619	371.285
Log Normal (maximum likelihood)	368.434	371.545
Halphen of type A (maximum likelihood)	367.081	371.747

La comparaison entre les résultats graphiques nous a permis de savoir que la loi la mieux adaptée pour l'ajustement est la loi de 3-parameter Lognormal car elle a les plus faibles valeurs des critères AIC et BIC.

III – 3 – 3 - Estimation des débits maxima annuels pour différentes périodes de retour :

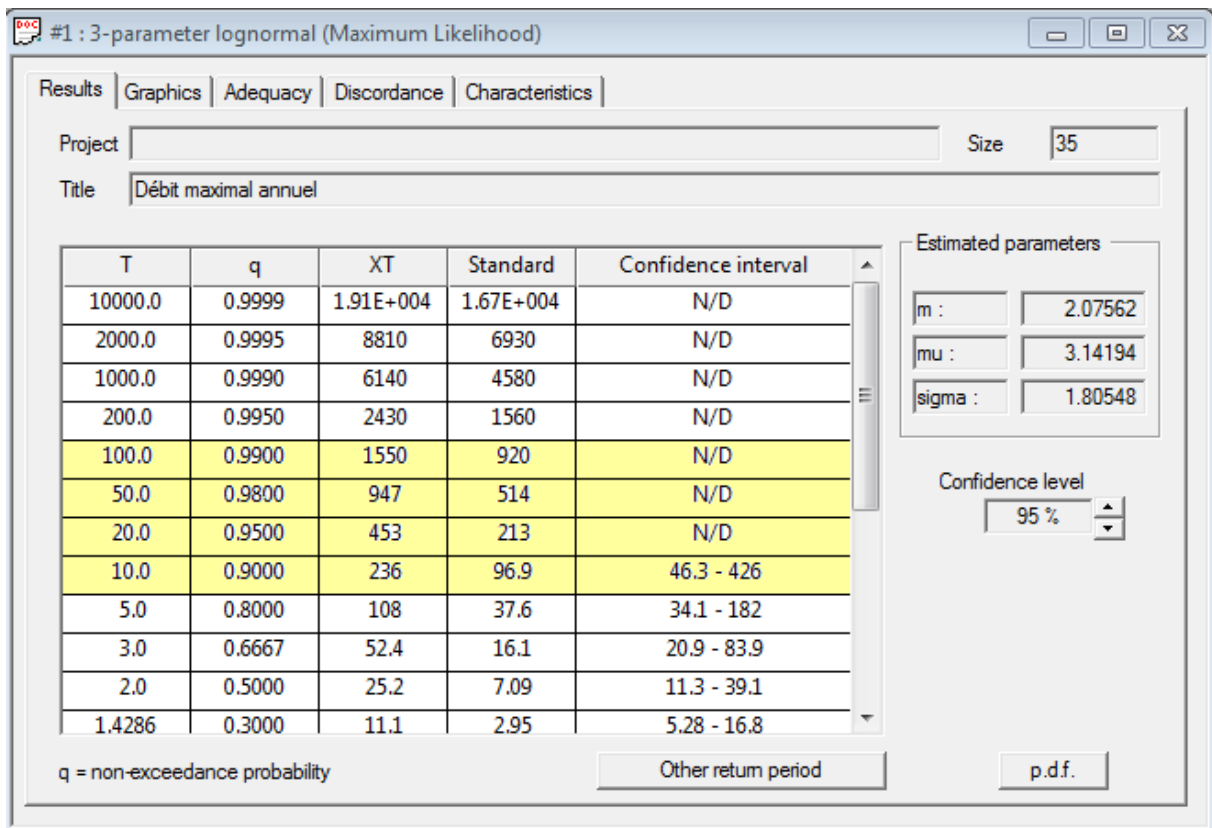


Figure 7 : Débits retenus par la loi de 3-parameter lognormal.

Les résultats obtenus au droit des stations hydrométriques seront transposés vers le bassin de l'oued étudié en utilisant la transposition **Franco-Rodier**.

L'estimation du débit du bassin non jaugé se fait à l'aide de la formule suivante :

$$\frac{Q}{10^6} = \left(\frac{A}{10^8} \right)^{1-0.1K_p}$$

Q : Débit de pointe de période de retour T (en m3/s).

A : Superficie du bassin.

k_p : est le coefficient de Franco-Rodier, calculé à l'aide de la formule suivante :

$$k_p = 10 \times \left[1 - \frac{\ln\left(\frac{Q}{10^6}\right)}{\ln\left(\frac{A}{10^8}\right)} \right]$$

Avec :

A = superficie du bassin IGROUNZAR 446 Km².

➤ **Coefficient de franco-rodier K_p retenu :**

Tableau 14 : Coefficient de Franco-Rodier calculé

K _p	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
	3.22	3.75	4.35	4.75

i- Débits retenus :

Tableau 15 : Débits calculés par la méthode de Franco-Rodier.

Q (m3/s)	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
	16.48	38.94	102.96	197.17

Les valeurs de débits obtenus par la méthode de l'ajustement statistique sont très différentes à celles qui sont retenus par les méthodes empiriques, ceci à cause de la grande différence entre les caractéristiques morphologiques telles que superficie et périmètre des deux bassins transposés.

III – 4 – Méthode de Gradex :

La méthode du Gradex est basée sur le principe qu'à partir d'une certaine valeur de pluie, provoquant une saturation maximale du sol, tout ce qui tombe ruisselle. . L'intérêt de la méthode est de déduire la loi des débits à partir de celle des pluies dont l'échantillon est plus long et offre par conséquent plus de précision. . L'utilisation de cette méthode servira donc à estimer les débits dans les bassins versants non contrôlés (absence de stations).

Le débit, à partir duquel, toutes les précipitations qui tombent ruissellent est appelé débit de référence (Q_0). En général cette méthode s'applique aux bassins versants d'une la superficie jusqu'à 5000 km² et un temps de concentration compris entre 1h et 4 jours.

Il a été démontré, à travers plusieurs études fréquentielles sur les précipitations journalières maximales, que la loi de Gumbel s'ajuste bien avec cette variable hydrologique.

Ainsi, un débit $Q(T)$ sera aussi linéaire par rapport à " y " à partir de la période de retour T_0 , puisque au-delà de T_0 , le supplément de pluie et le supplément de débit seront égaux.

Les étapes suivies, à partir de l'étude des pluies, sont comme suit :

- Calcul du Gradex des pluies maximales en 24 heures au poste considéré : pente de la droite de Gumbel ajustée à ces pluies.
- Calcul de Gradex des débits.
- Choix (ou Calcul) du débit décennal de référence : par formule empirique ou autre.
- Etablissement de l'équation de la droite de Gumbel des débits moyens.
- Calcul des débits moyens des crues rares : à période de retour plus que décennale.

➤ **Les données hydrologiques existantes :**

Une série de pluviométrie de station d'IGROUNZAR, représentant les précipitations journalières maximales (Voir Annexe 2).

III – 4 – 1 – Gradex des pluies en 24 heures :

Le Gradex des pluies pendant 24 heures d'après l'ajustement de la série est de **27.35mm/24heures**.

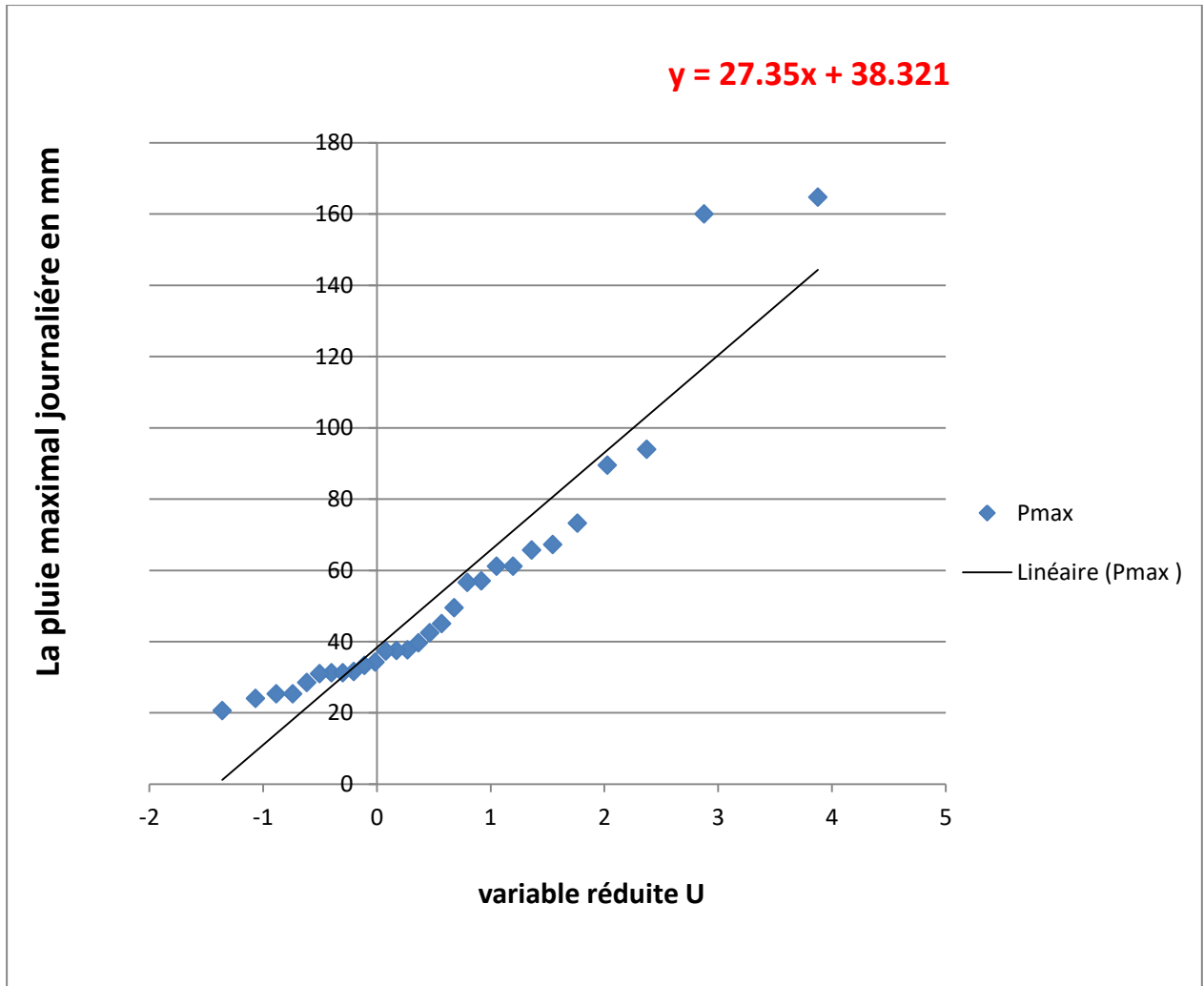


Figure 8 : Gradex des pluies en 24 heures.

III – 4 – 2 – Calcul de Gradex débits :

On admettant l'hypothèse du Gradex:

La courbe intensité-fréquence des pluies de durée 24 heures, est parallèle à la courbe intensité-fréquence du débit, on peut avoir le Gradex des débits par la formule suivante :

$$\text{Gradex}(Q) = \frac{\text{Gradex}(P_{j\max}) * A}{3.6 * 24}$$

Avec :

A : superficie du bassin versant = 8.79 km²

Gradex pluies = 27.35 mm

➤ **Gradex débits = 2.78 m³/s**

III – 4 – 3 – Calcul des débits :

Appliquons la loi de Gumbel pour calculer le débit Q(T) :

$$Q(T) = \text{Gradex}(Q) * \mu + Q_0$$

Q(T) : Débit de crue en fonction de la période de retour T.

Gradex (Q) : Gradex des débits.

μ : $\mu = -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right)$ est la variable réduite de Gumbel.

Q₀ : est un paramètre d'ajustement qu'on calcule après avoir le débit décennal Q(T=10ans).

- Calcul de Q_0 :

$$Q_0 = Q(T = 10\text{ans}) - \text{Gradex}(Q) * (-\ln(-\ln(1 - 1/10)))$$

Avec :

- débit de référence (T 10 ans) :

Le débit de pointe de référence est de **27.49 m³/s**, obtenu à partir de la moyenne de débits entre les trois formules empiriques.

- **F = 1-1/10** : est la probabilité de non dépassement pour un temps de retour T=10.
- **u** : est la variable réduite de Gumbel.

Tableau 16 : Détermination de l'équation d'ajustement des débits.

BV	Gradex(PJMax)	Gradex(Q)	T	F	u	Q(T=10)	Q ₀
BV	27.35	2.78	10	0.9	2.25	27.49	21.23

- Détermination des débits pour un T donné :

Tableau 17 : Débits calculés par la méthode de Gardex.

Période de retour T	10(ans)	20(ans)	50(ans)	100(ans)
Probabilité de non dépassement	0.9	0.95	0.98	0.99
Variable réduite de Gumbel	2.25	2.97	3.90	4.60
Débit du pointe(Q _p)	27.49	29.49	32.09	34.03

III – 5 – Synthèse des résultats :

Les résultats obtenus par les différentes méthodes utilisées pour le calcul des crues sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 18 : Débits obtenus en (m3/s) par les différentes méthodes.

	Débits calculés en (m3/s)			
	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Mallet-Gauthier	19.45	22.15	25.28	27.41
Hazan-Lazarevic	35.29	37.07	39.41	41.18
Fuller II	27.74	31.45	36.36	40.07
Méthode rationnelle	8.88	10.44	12.41	14.22
Méthode du Gradex	27.49	30.22	33.68	34.03
Franco-Rodier	16.48	38.94	102.96	197.17
Q (moyennes des valeurs les plus proches)	27.49	26.19	33.68	38.43

Les méthodes de MALLET GAUTHIER, FULLER et HAZAN-LAZAREVIC donnent des débits adaptés à notre petit bassin, par contre les valeurs obtenues par la METHODE RATIONNELLE sont très petites; que l'on va écarter.

On remarque aussi que les valeurs de débits obtenus par la méthode de FRANCO-RODIER sont très différentes et plus grandes par rapport aux autres méthodes, on peut l'expliquer par la grande dissemblance entre les caractéristiques morphologiques des deux bassins transposés.

La méthode du Gradex présente l'avantage d'être moins subjective, car issue de mesures de pluies réelles à un pluviomètre proche du bassin versant. Cette méthode qui suppose une averse généralisée à toute l'étendue du bassin versant prouve son efficacité pour les bassins de petite taille, où cette condition a beaucoup de chance de se réaliser, ce qui est notre cas.

Finalement les débits de pointes retenus sont donc ceux issues de la méthode de Gradex, et ceux qui nous allons utiliser pour la modélisation hydraulique.

Chapitre III :

**MODELISATION HYDRAULIQUE
ET
ETABLISSEMENT DES CARTES
DES ZONES INONDABLES**

Chapitre III : MODELISATION HYDRAULIQUE ET ETABLISSEMENT DES CARTES DES ZONES INONDABLES.

I – Objectif :

L'étude hydraulique vise la vérification de la capacité hydraulique de l'Oued traversant le secteur d'étude, pour les crues de période de retour de 10 ans , 20 ans , 50 ans et 100 ans.

Elle est réalisée par la construction d'un modèle hydraulique de l'Oued en se basant sur les paramètres qui déterminent le comportement hydraulique du cours d'eau. Ce modèle est construit sur la base des levés topographiques réalisés sur site.

La modélisation hydraulique effectuée permet de délimiter les zones inondables aux passages des crues.

II – Outil de modélisation :

Pour les besoins de simulation hydraulique de cette étude, on utilise les modèles mathématiques suivants :

➤ **HEC-RAS 4 :** (Hydrologic Engineering Center, River Analysis System) élaboré par le centre d'Ingénierie hydraulique des corps des ingénieurs de l'armée Américaine pour la modélisation d'un réseau fluvial monodimensionnelle et Mike Basin pour la modélisation bidimensionnelle. HEC-RAS est un progiciel d'analyses hydrauliques désigné à modéliser les écoulements à surface libre dans les canaux naturels et artificiels avec la prise en compte des ouvrages de franchissement. Il permet de simuler les écoulements graduellement variés en régime transitoire et d'effectuer les calculs de lignes d'eau en régime dynamique en simulant les différents obstacles le long du cours d'eau. La modélisation des oueds se base sur les profils en travers des Oueds, tient compte de tous les ouvrages de franchissement existant, et permet de définir différents coefficients de rugosité pour chaque section. Chaque ouvrage de franchissement est matérialisé par un profil à l'amont et un autre à l'aval, intégrant les dimensions des ouvertures ainsi que leurs différentes cotes.

➤ **Arc GIS et HEC-GEORAS** : HEC-GeoRAS est un système géographique élaboré pour l'analyse des cours d'eau et simulation hydraulique des écoulements en 2D développé avec ArcGIS. La conception de géodatabase sous le SIG permet l'analyse des données spatiales destinées pour la modélisation hydraulique et la cartographie des zones inondables.

III - Etapes de modélisation :

III – 1 - Données d'entrées du modèle :

III – 1 – 1 - Topographie :

La topographie constitue un support indispensable à la réalisation de la présente étude, c'est grâce à la topographie qu'il est possible de représenter l'architecture de l'oued dans le modèle.

Il s'agit :

- Des profils en long et profils en travers de cours d'eau étudiés
- Des profils en travers des ouvrages hydrauliques
- Une bande cotée le long des berges de l'oued

III – 1 – 2 - Paramètres du modèle :

✓ Coefficient de frottement k :

Dans le logiciel HEC RAS, la modélisation du frottement des oueds s'effectue de façon classique à l'aide du coefficient de frottement K.

La méthode de Cowan est utilisée pour calculer le coefficient de frottement au niveau du tronçon étudié et pour chaque zone considérée homogène. On donne ci-dessous un rappel succinct de cette méthode.

Le coefficient de rugosité n dépend de plusieurs facteurs, il est calculé par la formule :

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m_5$$

n_0 : dépend du type de matériaux qui constitue le lit de l'oued.

n_1 : degré d'érosion de la surface du canal.

n_2 : variation des sections du canal.

n_3 : degré d'obstruction à l'écoulement, du au dépôt de débris et de roches.

n_4 : présence de végétation.

m_5 : coefficient qui dépend du ratio entre les longueurs curviligne et droite du lit de l'oued.

Le choix de coefficient de rugosité s'est effectué sur la base des observations de terrain, en se reportant aux tableaux de référence donnés dans la littérature.

Le tableau ci- dessous donne des valeurs du coefficient de Manning pour différents types de couvertures et de terrains.

Tableau 19 : Les valeurs du coefficient de Manning pour différents types de terrains.

Nature des parois	Valeur de K	Coefficient de Rugosité
Béton lisse	75	0.013
Canal en terre, non enherbé	60	0.017
Canal en terre enherbé	50	0.02
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	35 - 40	0.025 – 0.029
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	30	0.03
Rivière à berges étroites, très végétalisées	10 – 15	0.067 – 0.1
Lit majeur en prairie	20 – 30	0.03 – 0.05
Lit majeur en vigne ou taillis	10 – 15	0.067 – 0.1
Lit majeur urbanisé	10 – 15	0.067 – 0.1
Lit majeur en forêt	< 10	< 0.1

✓ **Pertes de charge :**

Pour les différents franchissements, on utilise des pertes de charges recommandées par HEC RAS.

Ces pertes de charges sont dues aux rétrécissements et aux élargissements occasionnés par les ouvrages hydrauliques.

En se référant au « Mémento des pertes de charges Idel'clik », on a pour les tronçons d'entrées avec rétrécissement brusque la formule suivante ;

$$\mathbf{E \text{ entrée} = 0.5 * (1-F0/Fe)}$$

E entrée : Coefficient de perte de charge à l'amont

F0 : Aire de la section de l'ouvrage hydraulique

Fe : aire de la section à l'amont de l'ouvrage hydraulique

Pour un élargissement brusque à l'aval d'un tronçon long et rectiligne, et utilisant la même référence, on la formule suivant ;

$$\mathbf{E \text{ sortie} = 0.5 * (1-F0/Fs)}$$

E sortie : Coefficient de perte de charge à l'aval

F0 : Aire de la section de l'ouvrage hydraulique

Fe : aire de la section à l'aval de l'ouvrage hydraulique.

✓ **Conditions aux limites :**

▪ **Conditions amont :**

Correspondent aux débits de crues de périodes de retours 10, 20, 50 et 100 ans.

▪ **Conditions aval :**

La courbe de tarage $Q = f(h)$ de la section aval, calculée par la formule de Manning – Strickler, est prise comme condition aval du modèle. La formule de Manning Strickler est la suivante :

$$Q = K \times S \times R^{2/3} \times i^{0.5}$$

Le coefficient de Stricker correspond à celui adopté pour le tronçon aval du cours d'eau étudié. La pente considérée dans le calcul est la pente moyenne du lit de l'oued du tronçon aval du modèle.

III – 2 – Création de modèle numérique de terrain MNT :

La création de modèle numérique de terrain au niveau de site étudié s'est basée sur le levé topographique réalisé sur terrain et les données de restitutions 1/2000 et cela on choisissant une technique d'interpolation qui permettra la meilleur représentation de modèle physique à modéliser.

Le modèle numérique de terrain élaboré au niveau de localité de la zone d'étude est illustré dans la figure suivante :

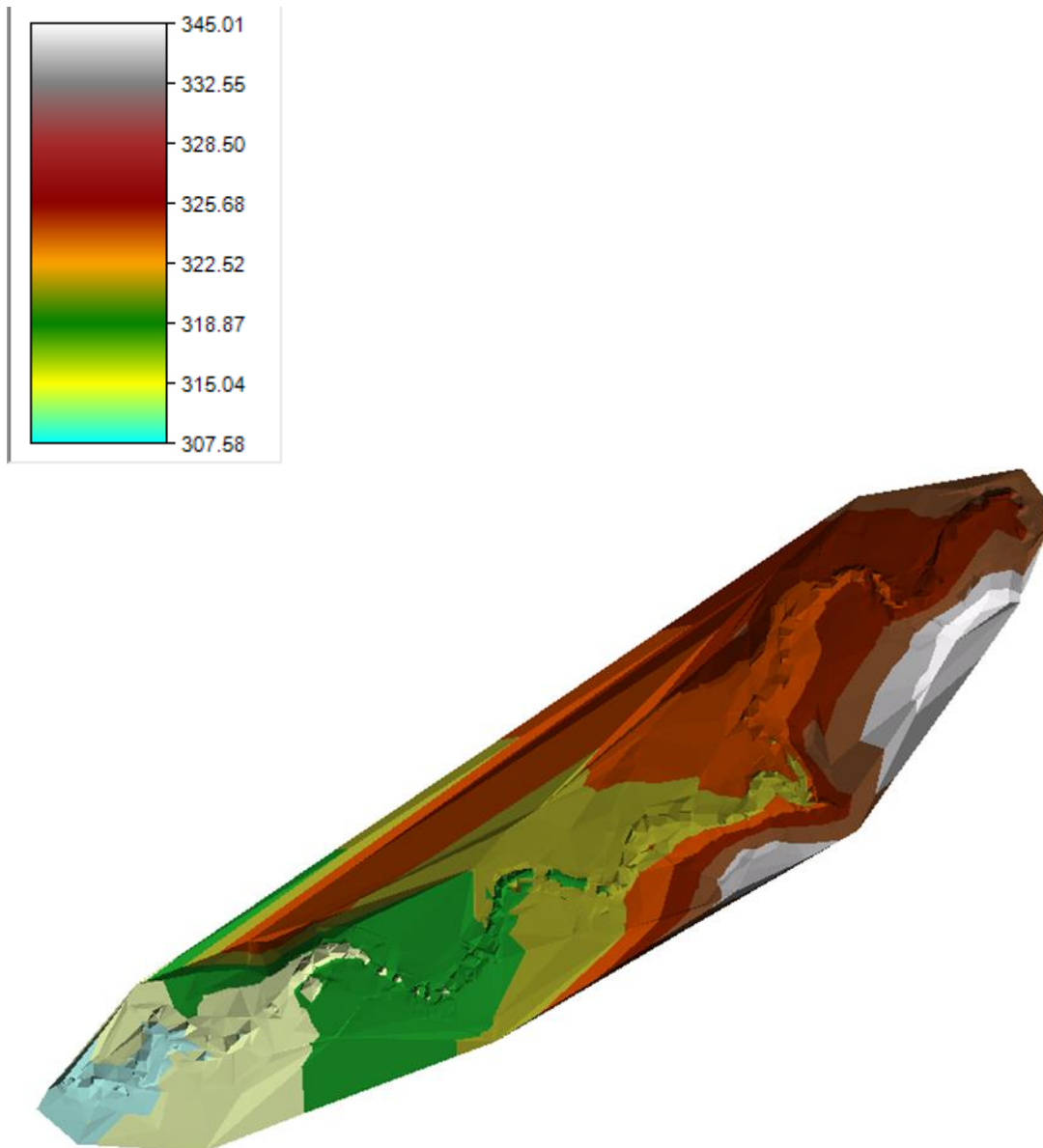


Figure 9 : Modèle numérique du terrain de l'oued Tamar.

III – 3 – Emplacement des sections :

La figure 10 montre l'emplacement des sections transversales le long de l'axe de l'oued Tamarar.

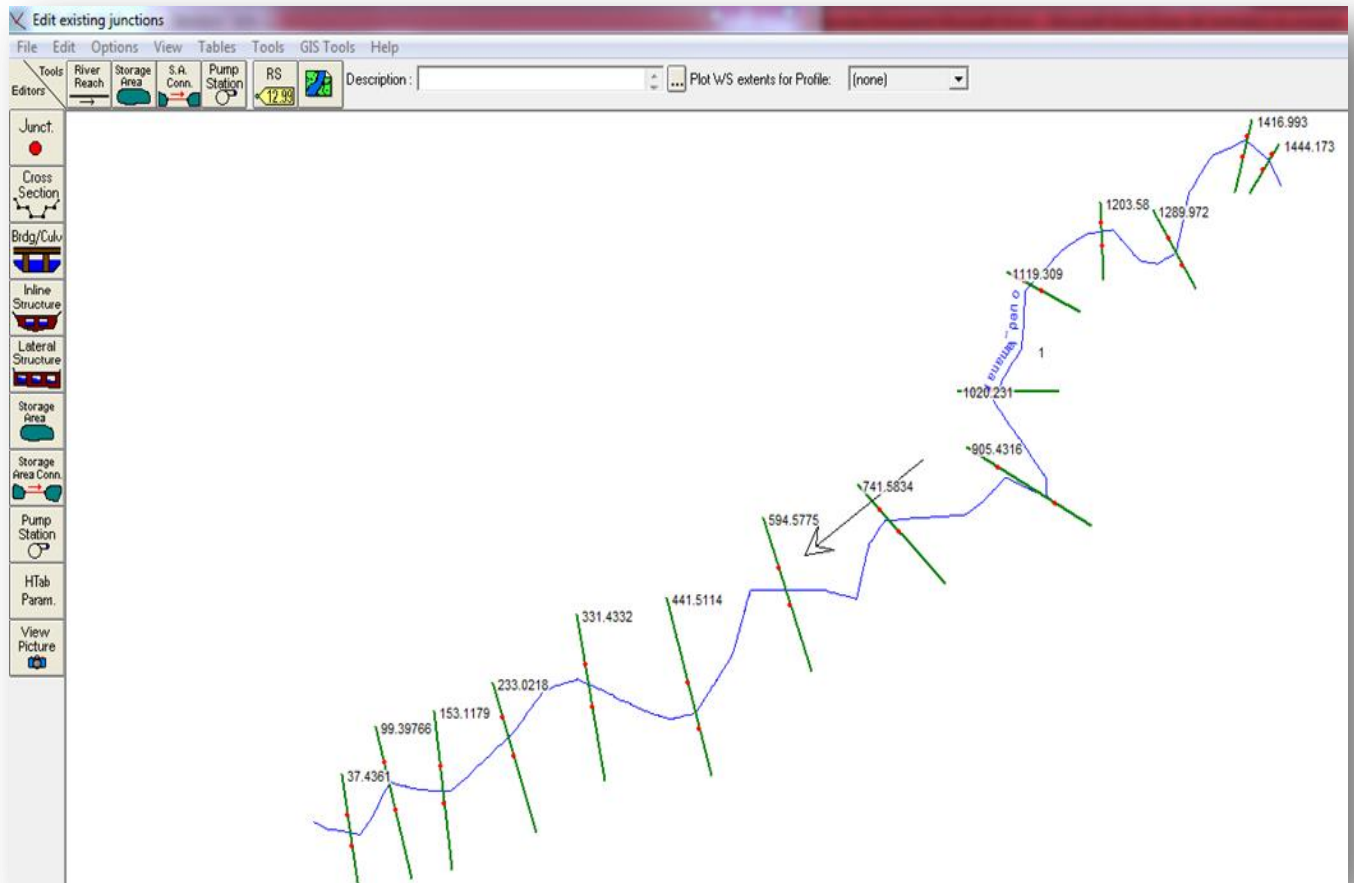


Figure 10 : Tracé en plan et emplacement des sections.

III – 4 – Résultats de simulation hydraulique :

Le logiciel permet aussi de créer des tableaux récapitulatifs de l'ensemble des paramètres hydrauliques pour un barrage ou autre ouvrage, pour une surface de stockage, pour chaque station (profil en travers), ou pour l'ensemble des stations à la fois.

Tableau 20 : Résultats de simulation hydraulique.

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: oued_tamanar Reach: 1												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	1444.173	PF 4	34.00	333.96	332.50	332.50	332.84	0.010489		13.12	19.33	0.00
1	1416.993	PF 4	34.00	330.19	331.51	331.51	331.83	0.005162	2.67	15.05	24.58	0.94
1	1289.972	PF 4	34.00	328.97	330.12	330.12	330.48	0.005479	2.67	13.15	19.34	0.98
1	1203.58	PF 4	34.00	326.59	328.18	328.18	328.57	0.005315	2.78	12.84	17.68	0.94
1	1119.309	PF 4	34.00	325.78	326.98	326.98	327.35	0.005785	2.72	12.56	17.50	1.00
1	1020.231	PF 4	34.00	324.55	325.80	325.80	326.15	0.005470	2.68	13.52	19.87	0.98
1	905.4316	PF 4	34.00	322.19	323.24	323.22	323.45	0.006135	2.05	16.68	35.61	0.95
1	741.5834	PF 4	34.00	321.02	322.18	322.18	322.49	0.005784	2.62	14.87	25.20	0.99
1	594.5775	PF 4	34.00	318.12	319.52	319.52	320.06	0.005995	3.24	10.50	9.98	1.01
1	441.5114	PF 4	34.00	316.27	317.49	317.49	317.67	0.006023	1.92	19.69	59.05	0.92
1	331.4332	PF 4	34.00	312.63	314.52	314.52	315.15	0.006784	3.50	9.71	7.77	1.00
1	233.0218	PF 4	34.00	313.25	313.96	313.96	314.16	0.006178	2.06	18.26	47.49	0.96
1	153.1179	PF 4	34.00	311.47	312.20	312.20	312.35	0.005707	2.05	23.93	74.75	0.93
1	99.39766	PF 4	34.00	309.84	310.74	310.74	310.99	0.006781	2.24	15.20	31.14	1.01
1	37.4361	PF 4	34.00	309.01	310.22	310.22	310.52	0.005449	2.45	15.04	27.30	0.95

➤ **Le profil en long :**

La ligne d'eau représente une vue en profil du tronçon d'étude avec le niveau et la surface d'eau de l'Oued et le niveau d'eau de chaque période de retour.

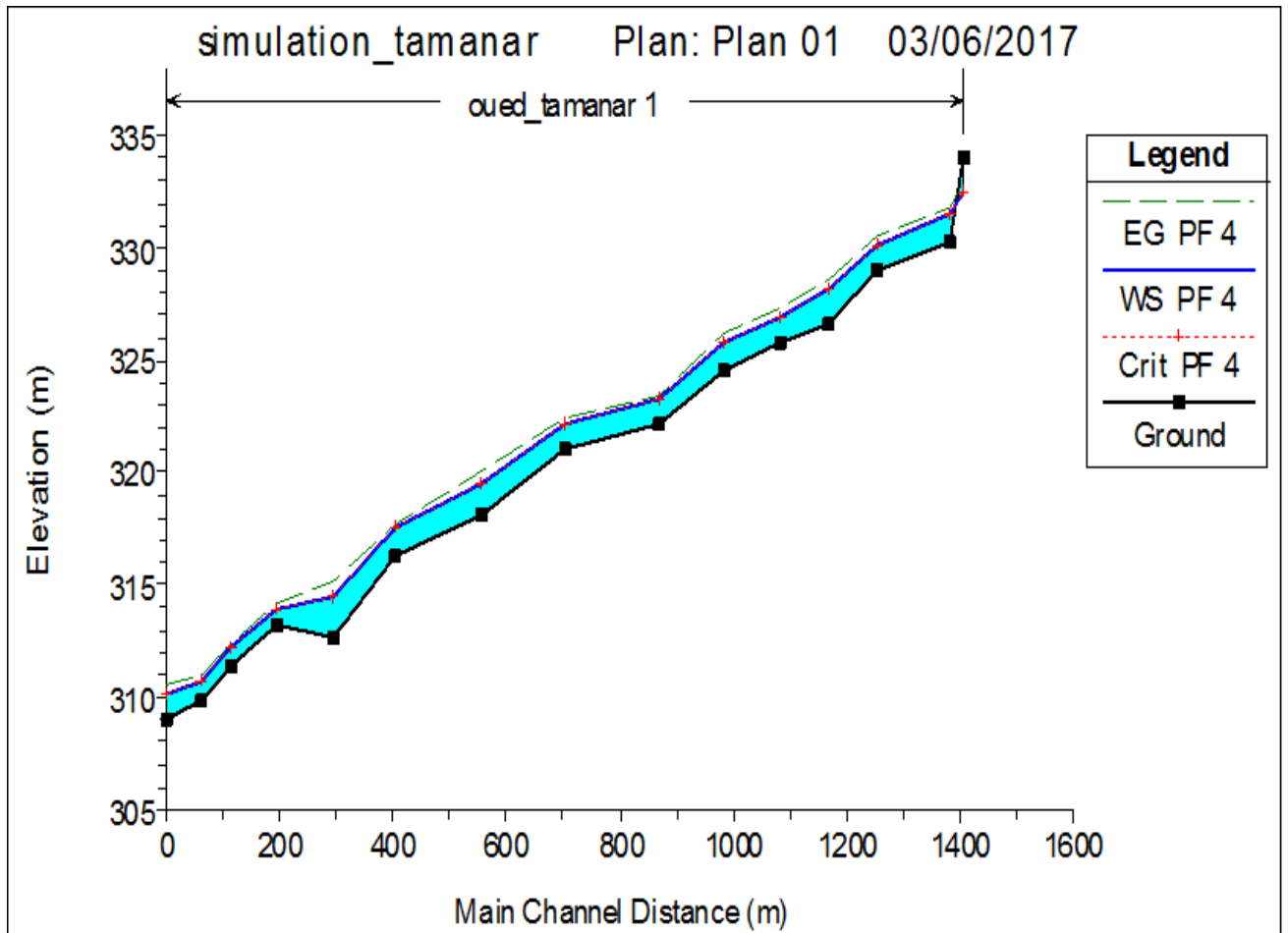


Figure 11 : Profil en long des niveaux d'eau maximaux des crues.

➤ **Les profils en travers :**

Cette option d'affichage des résultats par profil transversal, permet d'acquérir le maximum de détail à chaque point choisi du tracé du cours d'eau.

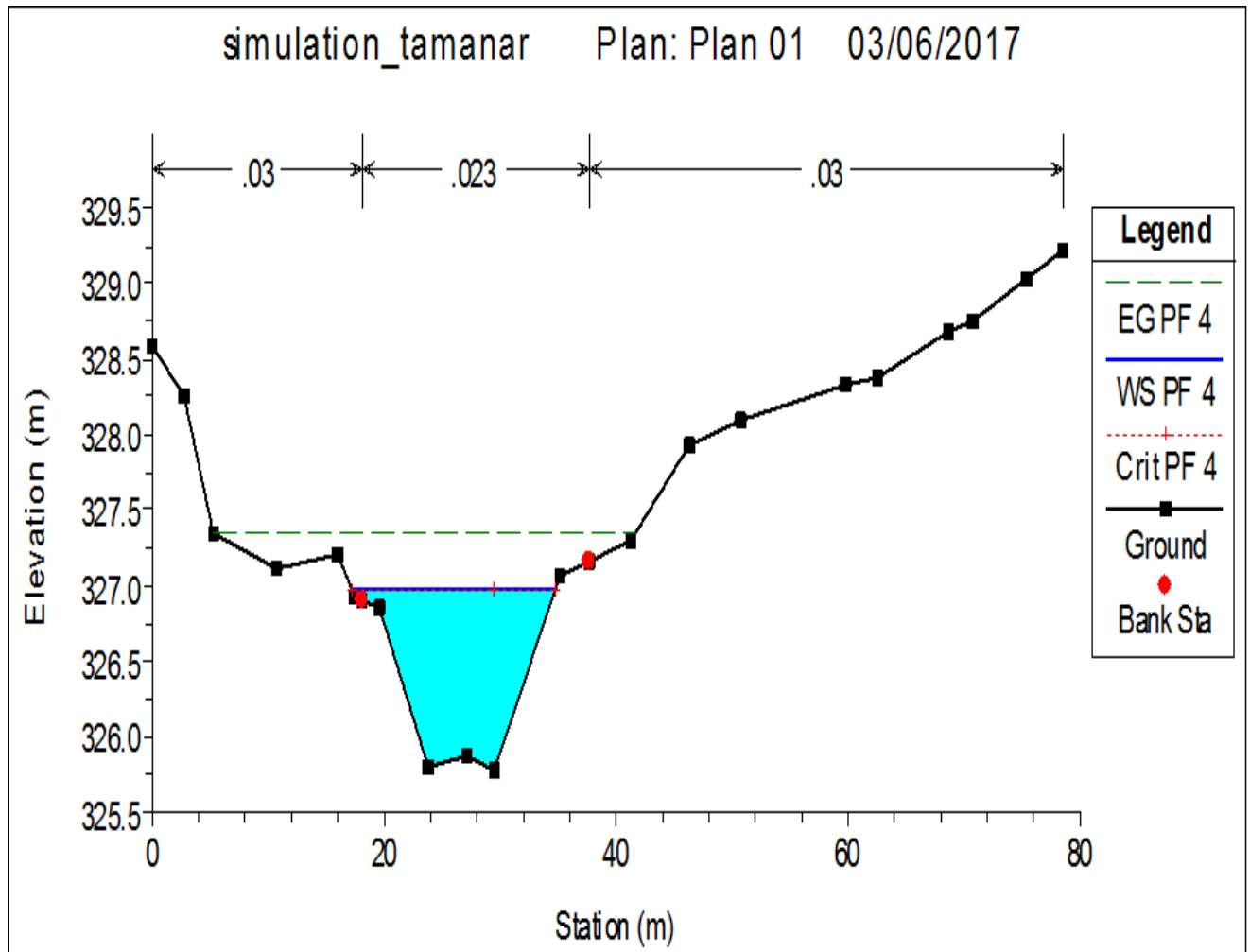


Figure 12 : Exemple de section illustrant les niveaux d'eau max atteints.

III – 5 – Cartes des zones inondables :

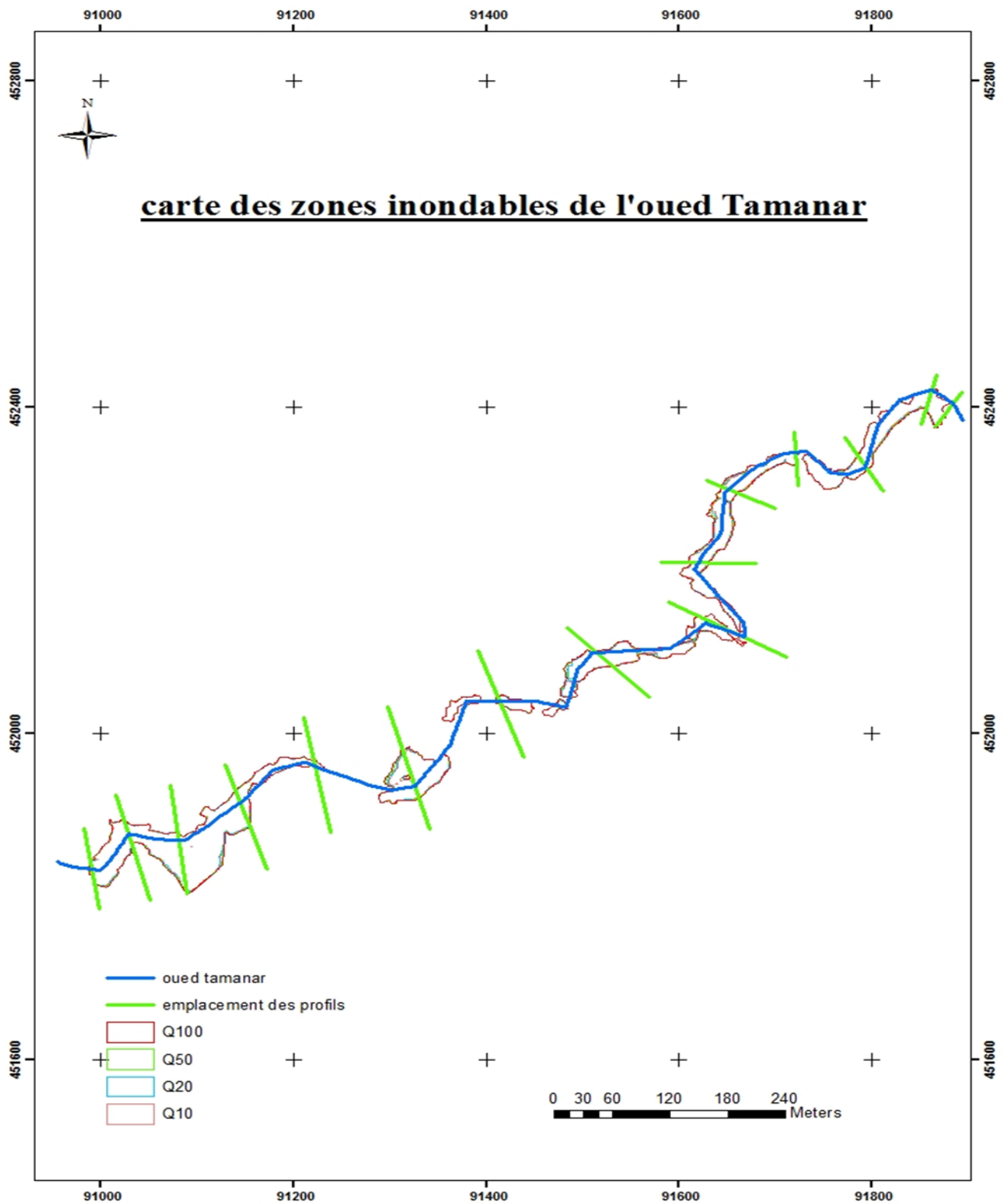


Figure 13 : Carte des zones inondables de l'Oued TAMANAR.

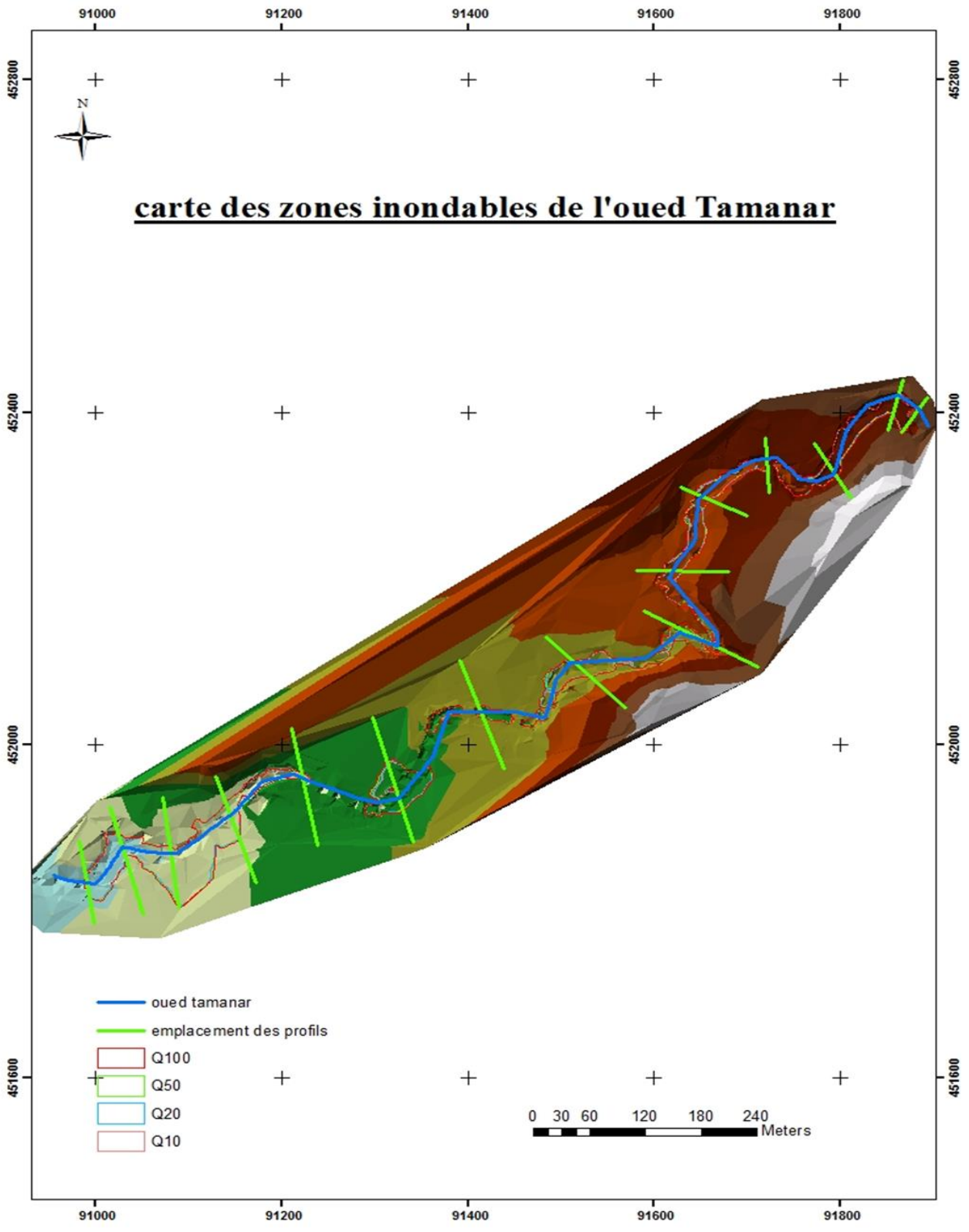


Figure 14 : Carte des zones inondables de l'Oued TAMANAR sur fond MNT.

Les figures 13 et 14 représentent l'étendu des zones inondables pour différentes fréquences de retour (10, 20, 50 et 100 ans) au niveau du centre de Tamarar.

On remarque une discontinuité de l'étendu de la zone inondables due à l'existence des ouvrages hydrauliques de franchissement qui n'ont pas été levé (donc on ne dispose pas d'assez de données pour mieux caler ces ouvrages et les intégrer dans le modèle).

Pour une meilleure interprétation des résultats de cette étude et pour voir l'impact des inondations sur les riverains de l'oued cela nécessite une étude parcellaire qui définit les parcelles et les constructions touchées par ces enveloppes de crues.

Pour conclure, on peut constater l'intérêt de cette étude dans l'élaboration des plans de développement ou d'aménagements réalisés par les agences urbaines et qui nécessite la connaissance des zones non aedificandi (le cas des zones inondables).

CONCLUSION GENERALE

Une série d'études a été effectuée sur cette région pour permettre de bien comprendre son fonctionnement hydrologique. Parfois les précipitations dans ce bassin causent de temps en temps des grands dégâts.

Le bassin versant d'Oued Tamanar a une forme allongée sur une superficie de 8.79 km². Les eaux rejoignent le cours d'eau principal dans une courte durée.

La modélisation hydraulique réalisée par l'utilisation d'HEC-RAS et HEC GEORAS du tronçon qui passe par le centre étudié a permis de délimiter, les zones qui peuvent être débordées par les eaux.

L'étude d'aménagement du centre Tamanar est programmée par l'Agence du bassin hydraulique de Tensift. Les résultats obtenus de la modélisation hydraulique peuvent servir aux décideurs dans le choix des types d'interventions pour l'aménagement des zones inondables en offrant une vision générale sur le comportement d'Oued Tamanar lors du dépassement de débits de pointe des périodes de retour.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agence de bassin hydraulique de Tensift (2014), Etude de protection contre les inondations des centres de sidi rhal et d'ouladali province d'el kalaa des sraghna. Mission 2 et 3. Rapport interne. Marrakech, 81 p.

Agence de bassin hydraulique de Tensift (2011), Protection des riverains contre les inondations de l'oued Goudji à Al Haouz. Mission 2 et 3. Rapport interne, Marrakech, 126p.

CHEIKH SIDI EL KHAIR Fatma (2013), Délimitation des zones inondables par l'utilisation combiné du logiciel HEC-RAS et HEC GEORAS cas du centre « Ain Jemaa ». Mémoire de master, Faculté des sciences et techniques Fes, 97 p.

OUABDERH Said (2014), Etude hydrologique de l'Oued Ighzer El Arba au niveau de la commune de Drarga, plaine de Souss. Mémoire de master, Faculté des sciences et techniques Fes, 38 p.

MUSY Andre (2001), Cours d'Hydrologie générale, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, (EPFL), Suisse, 200 p.

BENTEKHICI Nadjla (2006), Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (bassin versant d'Oued El Maleh, Nord-Ouest d'Algérie) ; 10ème Conférence francophone ESRI ; 11 et 12 Octobre Issy-les-Moulineaux ; 17 p.

ANNEXES

Annexe 1 : série des débits max de station Igrounzar.

STATION : IGROUNZAR

N1R E : 400/52

Date de mise en service : 16/09/1963

SERIE DES DEBITS Max.

Année	Date	Q (m ³ /s)
1965-66	04/11 à 22 h	71,3
1966-67	16/04 à 23 h	4,5
1967-68	19/11 à 16 h	60,0
1968-69	23/02/ à 14 h	13,6
1969-70	09/02 à 19 h	12,7
1970-71	01/01 à 4 h	23,5
1971-72	-	-
1972-73	-	-
1973-74	-	-
1974-75	-	-
1975-76	05/02 à 13h	7,2
1976-77	19/12 à 22 h	4,5
1977-78	17/10 à 19 h	65,4
1978-79	28/01 à 11 h	56,6
1979-80	18/10 à 17 h	28,3
1980-81	08/11 0 17h	172,0
1981-82	26/04 à 16 h	33,2
1982-83	08/11 à 9 h	4,1
1983-84	16/11 à 6 h	24,1
1984-85	07/01 à 5 h	673,0
1985-86	01/03 à 5 h	14,4
1986-87	17/03 à 19 h	19,6
1987-88	28/09 à 18 h	232,0
1988-89	10/11 à 5h30	232,0
1989-90	26/12 à 13 h	4,09
1990-91	19/02 à 11 h30	93,1
1991-92	10/12 à 19 h30	25,3
1992-93	05/05 à 1 h	3,4
1993-94	23/11 à 13 h30	7,5
1994-95	14/03 à 20 h	167,0
1995-96	22/01 à 17 h	263,0
1996-97	21/12 à 16 h 30	175,0
1997-98	03/02 à 2h	65,0
1998-99	27/8 à 0h30	2,31
1999-2000	14/10 à 1h30	16,7
2000-2001	26/12 à 20h	29,8
2001-2002	24/12 à 19h	255,0
2002-2003	25/11 à 7h30	11,3
2003-2004	28/03 à 10h30	5,56

Annexe 2 : Série de pluie maximale journalière.

STATION : IGROUNZAR

N° 4315

PLUIE MAXIMALE JOURNALIERE en mm

ANNEE/MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	MAX/an
1977 / 78	-	-	-	39.6	35.7	18.3	2.7	17.5	3.2	0.0	0.0	0.0	39.6
1978 / 79	0.0	6.4	2.0	20.6	33.3	10.6	14.5	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3
1979 / 80	0.0	16.0	0.0	1.8	15.5	67.2	24.3	9.2	0.5	0.0	0.0	0.0	67.2
1980 / 81	-	0.0	23.7	0.0	1.9	42.4	7.4	5.1	3.7	0.0	0.0	0.0	42.4
1981 / 82	0.0	11.4	0.8	14.4	36.8	12.9	24.4	93.9	3.5	0.0	0.0	0.0	93.9
1982 / 83	0.0	0.0	34.2	3.5	1.3	21.5	8.1	6.9	8.1	0.0	0.0	0.0	34.2
1983 / 84	0.0	3.9	45.0	8.2	0.0	5.2	17.7	4.3	8.3	0.0	0.0	0.0	45.0
1984 / 85	0.0	0.0	49.5	8.4	42.0	9.5	3.5	1.9	0.0	0.5	0.0	0.0	49.5
1985 / 86	0.0	0.0	6.4	28.5	9.6	37.6	21.3	24.6	0.0	2.6	0.0	0.0	37.6
1986 / 87	10.0	0.0	10.2	1.2	20.6	19.8	6.3	0.0	0.3	0.3	0.0	5.2	20.6
1987 / 88	10.0	32.8	18.4	61.1	49.3	13.1	10.6	0.0	9.9	21.9	0.0	0.0	61.1
1988 / 89	0.0	24.2	164.7	0.0	23.8	15.5	22.2	24.5	0.6	0.0	0.0	0.0	164.7
1989 / 90	0.0	3.7	19.9	20.0	18.4	0.0	56.6	16.5	14.3	3.1	0.0	0.0	56.6
1990 / 91	0.2	7.0	8.1	27.0	9.5	61.1	49.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	61.1
1991 / 92	9.2	57.0	5.2	6.4	0.3	4.3	9.4	14.4	0.0	7.4	0.0	0.0	57.0
1992 / 93	2.7	1.0	5.5	24.0	16.4	8.7	7.3	3.7	16.1	0.0	0.0	0.0	24.0
1993 / 94	0.0	31.0	22.8	2.5	25.8	18.9	12.8	0.2	1.4	0.0	0.0	0.0	31.0
1994 / 95	0.0	20.0	6.7	4.3	0.0	28.5	21.9	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	28.5
1995 / 96	0.1	6.8	56.8	49.0	65.7	21.5	19.5	1.4	8.9	1.6	0.0	0.0	65.7
1996 / 97	2.4	1.0	58.8	89.5	30.5	2.6	8.7	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.5
1997 / 98	4.7	24.5	18.7	21.3	18.3	41.0	73.2	9.0	2.0	2.6	0.0	0.0	73.2
1998 / 99	0.0	0.0	0.0	26.8	31.2	12.6	22.5	6.2	21.6	0.0	0.0	0.0	31.2
1999 / 2000	3.8	13.8	12.4	6.3	25.3	2.2	0.0	20.5	0.3	0.0	0.0	0.0	25.3
2000 / 2001	0.0	5.0	2.1	37.4	26.7	2.7	12.7	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	37.4
2001 / 2002	2.7	0.0	3.2	28.1	0.3	14.4	18.4	25.5	1.9	0.0	0.0	0.0	28.1
2002 / 2003	0.0	3.2	43.5	9.3	3.7	8.2	7.1	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	43.5
2003 / 2004	0.0	26.9	37.5	21.8	0.5	33.4	35.0	3.6	15.3	0.0	0.0	0.0	37.5
2004 / 2005													37.3
2005 / 2006													160.0
2006 / 2007													31.6
2007 / 2008													25.3
2008 / 2009													31.2